INSTITUTUL DE STUDII
ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE
I. S. P. E.

INSTRUCȚIUNI
DE
PROIECTARE

CENTRALE ȘI STAȚII

PARTEA ELECTRICĂ

Vol. I

CONDUCTORI NEIZOLAȚI FLEXIBILI

BUCUREȘTI
1965

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE
I. S. P. E.

ATELIERUL ECONOMIC

CONDUCTORI NEIZOLAŢI FLEXIBILI

Ing. C. NEGREANU
Şef de proiect

EDITAT DE SERV. TEHNIC I. S. P. E.

CUPRINSUL

Pag.

1. Domeniul de aplicare 5
2. Legislația tehnică 5
3. Datele necesare pentru proiectare 6
4. Elementele soluției 9
   4.1. Calculul electric 9
   4.2. Calculul mecanic 16
5. Conținutul proiectului 35
6. Bibliografie 36
7. Anexe:
   1. Conductori de oțel-aluminiu construcție normală 1/6 (STAS 3000-64). Sarcini de durată admisibile la temperatura conductorului de 70° C. 37
   2. Calculul tensiunii critice de efect corona 38
   3. Harta zonelor meteorologice din România (între pag. 50—51)
   4. Condiții meteorologice limită în România 51
   5. Conductori neomogeni. Modul de elasticitate echivalent, repartiția efortului, coeficientul de dilatare termică echivalent, rezistența admisibilă totală 52
   6. Conductori de oțel-aluminiu construcție normală 1/6 (STAS 3000-64). Caracteristici tehnice 55
   7. Conductori de oțel-aluminiu construcție normală 1/6 (STAS 3000-64). Sarcini suplimentare minime 56
   8. Conductori funie de oțel zincat. Categ. C — Rezistența la rupere 120 kg/mm² (STAS 3734-60). Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime 57
   9. Elemente pentru lanțuri de izolatori de suspensie cu capă. Caracteristici tehnice 58
   10. Lanțuri de izolatori de suspensie cu capă. Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime 59
   11. Cleme de derivație și de legătură. Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime 61
   12. Determinarea puterii de tranzit a barelor colectoare. Exemplu. 62
   13. Lanțuri de izolatori în V 64
   14. Exemplu de calcul 68
   15. Temă pentru proiectarea cadrelor de susținere. Exemplu. . 98
   16. Conductori fasciculați 100
   17. Utilizarea mașinilor electronice pentru calculul mecanic . 108

CONDUCTORI NEIZOLAȚI FLEXIBILI

1. DOMENIUL DE APLICARE

Se aplică în cazul stațiilor de conexiuni și transformare de orice tensiune, inclusiv în cazul stațiilor aferente centralelor electrice.

2. LEGISLAȚIA TEHNICĂ

2.1. Standarde

STAS 3000-64 Linii aeriene de energie electrică. Conductori de oțel-aluminiu.
STAS 3734-60 Linii electrice aeriene. Conductori funie de oțel
STAS 6272-60 Izolatori de porțelan pentru linii electrice. Condiții generale.
STAS 3565-59 Linii aeriene de înaltă tensiune. Izolator de suspensie cu capă. Dimensiuni.
STAS 680-61 Linii aeriene de înaltă tensiune. Cleme de tracțiune pentru armături de suspensie.
STAS 4574-54 Stații și posturi de transformare. Cleme terminale cu con. Dimensiuni.
STAS 682-60 Linii aeriene de înaltă tensiune. Cleme de tracțiune pentru conductorul de protecție. Formă și dimensuni
STAS 675-61 Linii aeriene de înaltă tensiune. Nuci cu ochi pentru armături de suspensie.
STAS 674-61 Linii aeriene de înaltă tensiune. Ochiuri pentru armături de suspensie.
STAS 676-59 Linii aeriene de înaltă tensiune. Juguri pentru armături de suspensie. Dimensiuni.
STAS 678-49 Linii aeriene de înaltă tensiune. Piesă de distanțare pentru armături de suspensie. Dimensiuni.
STAS 677-60 Linii aeriene de înaltă tensiune. Tijă cu două rotule pentru armături de suspensie.

STAS 3566-59 Linii aeriene de înaltă tensiune. Tijă cu rotulă și locașul rotulei pentru izolatori de suspensie cu capă. Dimensiuni.

STAS 1566-56 Linii electrice aeriene. Cleme de legătură.

STAS 296-60 Linii electrice aeriene peste 1 kV. Cleme de legătură electrică cu plăci de contact. Dimensiuni.

STAS 4171-64 Stații de transformare electrice exterioare. Cleme de legătură la borne și de derivație pentru conductori de aluminiu și oțel-aluminiu.

STAS 6489-61 Rețele electrice peste 1 kV. Coordonarea izolației. Nivele de izolație și de protecție.

2.2. Prescripții, normative

1. MMEE-DEE 13-61. Prescripții pentru proiectarea și construirea instalațiilor de distribuție cu tensiuni mai mari decît 1000 V.

2. MEEIE 10-54. Construcția instalațiilor electrice. Vol. I. Prescripții cu privire la proiectarea sistemelor electrice.

3. MMEE-DEE 7-61 Prescripții pentru alegerea aparatelor electrice și a conductorilor, în funcție de solicitarea în caz de scurt-circuit.

4. MMEE-DEE 4-1964. Prescripții pentru construcția liniilor electrice aeriene de energie electrică peste 1000 V.

5. CSCAS I. 7-62. Normativ pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de instalații electrice cu tensiuni pînă la 1000 V, la construcții civile și industriale.

2.3. Instrucțiuni

1. MEEIE (1954). Instrucțiuni pentru verificare la stabilitate termică și electrodinamică a instalațiilor din stațiile electrice.

3. DATELE NECESARE PENTRU PROIECTARE

1. Destinația conductorului (circuitul din care face parte sau aparatele alimentate).

2. Tensiunea nominală și tensiunea maximă de funcționare (ultima numai în cazul tensiunilor nominale de 35 kV sau mai mult).

Conform STAS 6489-61, tensiunea maximă de funcționare este:

Tensiunea nominală	Tensiunea maximă de funcționare
kV	kV
35	42
60	72,5
110	123
220	245
400	420

3. Curentul nominal. La barele colectoare este egal cu curentul maxim de durată.

4. Curentul maxim de durată. Corespunde capacității de supraîncărcare de durată a mașinilor electrice și a aparatelor de pe circuit.

În circuitele generatoarelor și transformatoarelor bloc se consideră că nu există posibilități de supraîncărcare de durată.

În circuitele celorlalte transformatoare, supraîncărcarea de durată se consideră cea indicată de fabrica constructoare pentru durata de 2 ore. Fabrica constructoare trebuie să indice de asemenea temperatura aerului înconjurător pentru care este garantată supraîncărcarea de 2 ore. În lipsa indicațiilor fabricii constructoare, se va admite o supraîncărcare de durată de 25...30% peste sarcina nominală.

În cazul barelor colectoare sau de transfer, curentul maxim de durată corespunde puterii maxime de tranzit. Pentru determinarea acesteia, este utilă stabilirea circulației de puteri în diverse situații de funcționare, alegîndu-se situația cea mai defavorabilă (conform anexei 12). Se recomandă adoptarea unei valori acoperitoare, care ține seama de perspectivele de viitor.

5. Timpul de declanșare total (de la apariția defectului pînă la întreruperea curentului) al protecției de bază. În cazul existenței R.A.R., componența ciclului și duratele corespunzătoare ale perioadelor în care circuitul este închis.

Dacă protecția de bază are zone moarte, precum și în cazul elementelor de circuit care necesită o mare siguranță (de exemplu bare colectoare), se va indica de asemenea timpul de declanșare total al protecției de rezervă.

6. Curenții de scurt circuit cei mai favorabili și raportul R/X:

I_{po} = valoarea eficace inițială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit trifazat (I_{3po}), bifazat (I_{2po}) și monofazat (I_{1po}).

I_{∞} = valoarea eficace a curentului stabilizat de scurtcircuit trifazat ($I_{3\infty}$), bifazat ($I_{2\infty}$) și monofazat ($I_{1\infty}$).

R/X, unde R și X reprezintă rezistența și reactanța căii de scurtcircuit.

Dacă se cunoaște a priori care dintre tipurile de scurtcircuit (trifazat, bifazat sau monofazat) este cel mai defavorabil din punct de vedere termic, se vor indica numai valorile I_{po} și I_{∞} corespunzătoare. Cunoașterea valorii I_{2po} este însă recomandabilă în orice caz pentru calculul mecanic (v. și 4.1.3.1), iar a valorii I_{3po} pentru calculul efortului suplimentar de șoc în cazul conductorilor fasciculați, conform anexei 16.

Valorile de mai sus vor fi indicate pentru defectele produse în diverse puncte ale schemei, urmînd a se alege punctul care corespunde solicitării celei mai defavorabile. Dacă acest punct este evident a priori, se vor indica numai valorile corespunzătoare.

Pentru dimensionare se stabilește o putere de scurtcircuit de perspectivă. Se recomandă deci să nu se pornească de la o configurație dată a rețelei, ci de la o putere de scurtcircuit plafon, pentru care să se dimensioneze întreaga instalație sau cel puțin părțile care sînt mai greu de înlocuit în viitor.

În cazul porțiunilor dintr-o instalație, care funcționează în mod normal separate electric una de alta, la stabilirea puterii de scurtcircuit plafon pentru fiecare porțiune se va ține seama de această separare. În cazul interconectării inevitabile de scurtă durată a acestor porțiuni (de exemplu la trecerea unui consumator de pe o secție de bare pe alta), se admite depășirea puterii de scurtcircuit plafon. În acest caz se iau măsuri de siguranță pentru prevenirea eventualelor accidente de persoane.

7. Zona geografică și altitudinea.

8. Condițiile meteorologice, conf. 4.2.2. (pentru calculul mecanic). De asemenea, temperatura maximă a aerului, conf. 4.1.2.2. (pentru calculul electric).

9. Componența lanțurilor de izolatori, conform instrucțiunilor de proiectare pentru alegerea izolatorilor.

10. Elementele geometrice ale deschiderii și distanța între faze.

4.1. Calculul electric

4.1.1. *Criteriile de dimensionare*

1. Se folosesc de regulă conductori de oțel-aluminiu.

2. Se alege secțiunea minimă standardizată corespunzătoare curentului maxim de durată (4.1.2.) și solicitării termice la scurtcircuit (4.1.3.). Ea se verifică apoi la condiția privitoare la efectul corona (4.1.4.) și dacă este necesar se aleg conductori cu diametru mai mare sau conductori fasciculați.

În cazul curenților foarte mari se recomandă alegerea unei secțiuni economice, dacă aceasta nu conduce la supradimensionarea construcțiilor de susținere.

3. Se recomandă reducerea la minimum a sortimentelor de conductori utilizați în cadrul unei centrale sau stații electrice. În acest scop, se poate renunța la sortimentele necesare în cantități mici, în favoarea unor secțiuni superioare.

4. Caracteristicile conductorilor de oțel-aluminiu standardizați în România sînt indicate în anexă.

5. Rezultatele calculului se prezintă în proiect sub forma unor breviare. Pot fi luate ca model breviarele anexate exemplului de calcul (anexa 14).

4.1.2. *Curentul maxim de durată*

1. Temperatura maximă de regim a conductorilor: +70°C.

2. Temperatura maximă a aerului se determină pe baza datelor meteorologice statistice ale regiunii de amplasare. Se ia în considerare temperatura maximă care apare cel puțin o dată la 10 ani pentru stațiile de 110 kV sau mai mult și cel puțin o dată la 5—10 ani (după importanța stației) pentru stațiile cu tensiuni mai mici. Nu se vor adopta însă în calcul valori mai mici decît cele menționate în aliniatul următor.

Dacă pentru instalații situate în România nu se cunosc datele meteorologice statistice ale regiunii de amplasare, se vor adopta următoarele date limită *):

— Altitudini pînă la 700 m: + 40°C
— Altitudini peste 700 m: + 30°C

*) Valorile indicate mențin diferența de 10°C între regiunile de mică și mare altitudine prevăzută în prescripțiile de la pct. 2.2.2., dar valorile pentru altitudini mici sînt conforme cu prescripțiile de la pct. 2.2.4.

Dacă încărcarea la plină sarcină a conductorului într-un interval de timp situat la mijlocul zilei (cînd temperatura aerului este maximă) este foarte puțin probabilă, valorile de mai sus pentru temperatura maximă a aerului pot fi reduse. Reducerile vor fi aprobate în prealabil de Comisia Tehnică Internă (C.T.I.) a organizației de proiectare, pe baza unei documentații justificative.

3. Curenții de durată admisibili la temperatura conductorului de +70°C și la temperaturile maxime ale aerului de +30°C și +40°C sînt indicați în anexă.

Dacă se cunoaște curentul de durată admisibil I_a la temperatura θ_a a aerului înconjurător, se poate deduce curentul admisibil I'_a la o altă temperatură θ'_a a aerului prin relația:

$$I'_a = I_a \sqrt{\frac{70 - \theta'_a}{70 - \theta_a}}.$$

Această relație se bazează pe ipoteza simplificatoare că debitul căldurii produse și disipate este proporțional cu diferența între temperatura conductorului și cea a aerului înconjurător.

Pentru interior se ține seama de temperatura maximă a aerului înconjurător și se aplică în plus coeficientul de corecție 0,85.

Pe baza datelor de mai sus, se determină secțiunea minimă care permite trecerea curentului maxim de durată.

4. În cazurile în care curentul maxim de durată nu poate fi suportat de un singur conductor, se prevăd conductori fasciculați. Această soluție poate fi determinată și de alte considerente (efectul corona, existența separatoarelor de tip pantograf etc). Se presupune o repartiție egală a curentului între conductorii fascicolului.

4.1.3. *Stabilitatea termică la scurt-circuit*

1. Pentru calculul stabilității termice, este determinant curentul de scurt-circuit trifazat, bifazat sau monofazat, precum și punctul de defect care conduc la solicitarea termică maximă.

Dacă impedanța rețelei este mai mare decît reactanța sincronă a generatoarelor, este determinant în general curentul de scurt-circuit trifazat. La defecte în apropierea generatoarelor, poate fi determinant curentul de scurt-circuit bifazat. În rețelele cu neutrul legat direct la pămînt poate fi determinant uneori curentul de scurt-circuit monofazat (VDE 0102 Teil 1/9.62, § 4 b).

2. Curentul mediu echivalent I_m al scurt-circuitului (care are același efect termic în timp de 1 s) rezultă din relația:

$$I_m = I_{po} \sqrt{(m + n)\, t} \qquad (A)$$

unde:

I_{po} = valoarea eficace inițială a componentei periodice a curentului de scurt-circuit trifazat (I_{3po}), bifazat (I_{2po}) sau monofazat (I_{1po}). (A)

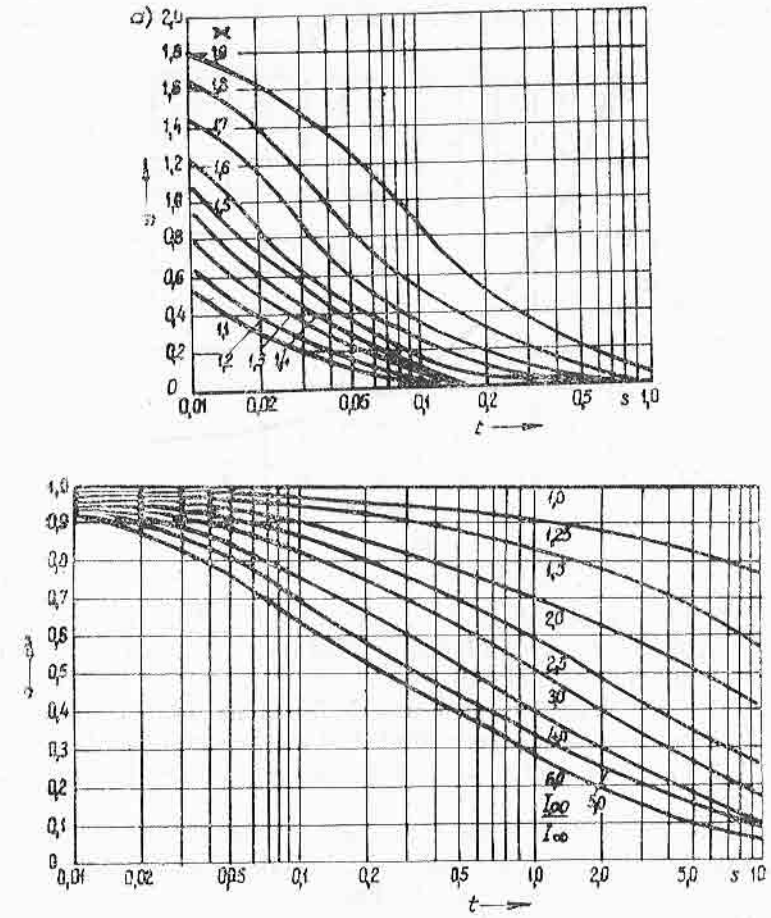


Fig. 1

a) Determinarea coeficientului m al componentei continue.
b) Determinarea coeficientului n al componentei alternative.

m = un coeficient care ține seama de aportul componentei aperiodice a curentului de scurt-circuit.

n = un coeficient care ține seama de variația în timp a valorii eficace a componentei periodice.

t = timpul de declanșare total (de la apariția defectului pînă la întreruperea curentului) (s).

Valoarea coeficientului m este indicată în figura 1-a, în funcție de timpul total t al defectului și de factorul de șoc $\varkappa$. Valoarea acestuia din urmă este indicată în figura 2, în funcție

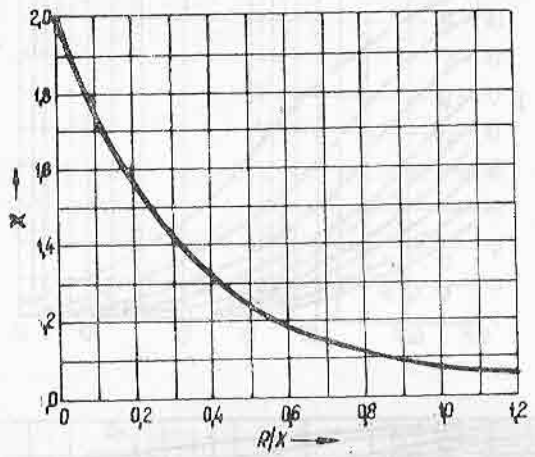


Fig. 2

de raportul R/X al căii de scurt-circuit, unde R și X reprezintă partea reală și coeficientul părții imaginare a impedanței complexe a căii de scurt-circuit.

Valoarea coeficientului n este indicată în fig. 1-b, în funcție de timpul de declanșare total t și de raportul I_{po}/I_{∞}.

3. Timpul de declanșare total este determinat de protecția de bază.

Dacă protecția de bază are zone moarte, se va lua în considerare protecția de rezervă care acționează la defecte în zonele moarte ale protecției de bază.

De asemenea, se va lua în considerare protecția de rezervă în cazul circuitelor care necesită o mare siguranță (de exemplu bare colectoare).

4. În cazul circuitelor cu reanclanșare automată, curentul mediu echivalent total este dat de relația :

$$I_{mt} = \sqrt{I_{m1}^2 + I_{m2}^2 + \ldots + I_{mn}^2} \qquad \text{(A)}$$

unde I_{m1}, $I_{m2} \ldots I_{mn}$ sînt curenții medii echivalenți pentru intervalele de timp ale ciclului de reanclanșare, în care conductorul este străbătut de curentul de defect. Valorile $I_{m1} \ldots I_{mn}$ se calculează cu relația indicată la pct. 2 precedent.

5. Efectul aparatelor limitatoare de curent (de exemplu siguranțe fuzibile) poate fi luat în considerare la determinarea curentului mediu echivalent al scurt-circuitului.

6. Temperatura maximă admisibilă a conductorului la sfîrșitul scurt-circuitului θ_{sc} este următoarea :

Conductori funie supuși unei tensiuni $<$ 1 kg/mm² :	Al	180°C
	Cu	200°C
	Ol	200°C
Conductori funie supuși unei tensiuni $\geqslant$ 1 kg/mm² :	Ol—Al și Aldrey	160°C
	Al	130°C
	Cu	170°C
	Ol	200°C

7. Secțiunea necesară pentru stabilitate termică s_t este :

$$s_t = \frac{I_m}{j_t} \quad \text{(mm²)}$$

unde :

j_t este densitatea de curent admisibilă la scurt-circuit (A/mm²).

In cazul circuitelor cu reanclanșare automată, curentul I_m se înlocuiește cu I_{mt}.

8. Densitatea de curent admisibilă j_t rezultă din fig. 3, în funcție de temperatura inițială a conductorului θ_c și de temperatura maximă admisibilă la sfîrșitul scurt-circuitului θ_{sc} indicată mai sus.

La conductorii de oțel-aluminiu, valoarea j_t se referă la partea de aluminiu.

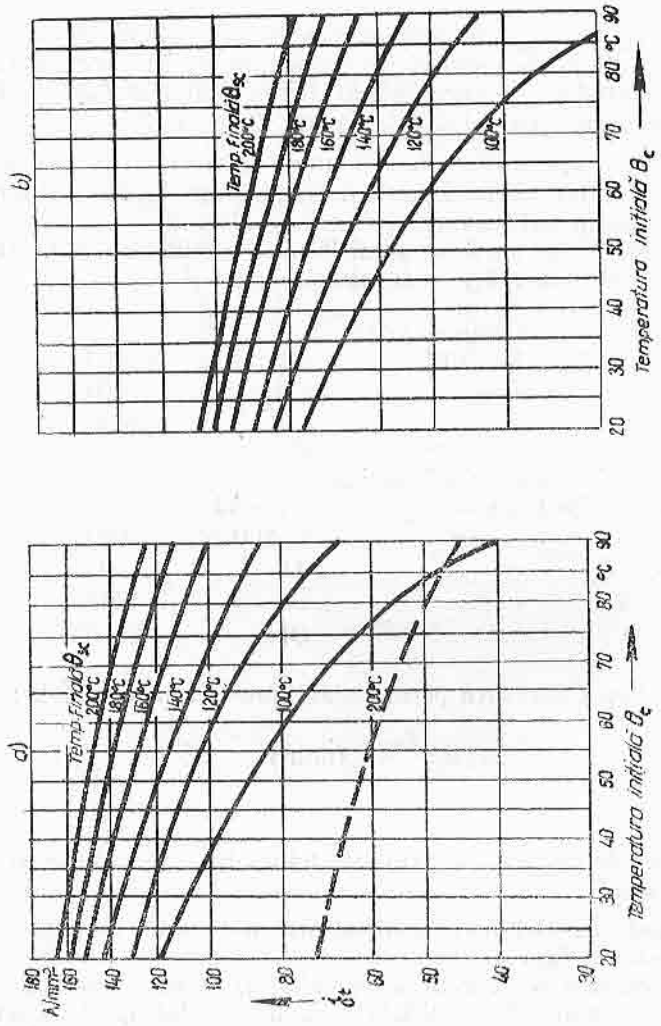


Fig. 3
a) Pentru Cu (linii pline) și Ol (linie întreruptă),
b) Pentru Al, Aldrey și Ol—Al.

9. Temperatura inițială a conductorului θ_c poate fi calculată cu relația:

$$\theta_c = \theta_a + (70 - \theta_a)\frac{I^2}{I_a^2} \quad (°C)$$

unde:

θ_a = temperatura maximă a aerului, conf. 4.1.2.2. (°C)
I = curentul maxim de durată (A)
I_a = curentul de durată admisibil la temperatura θ_a a aerului (A)

Această relație se bazează pe ipoteza simplificatoare că debitul căldurii produse și disipate este proporțional cu diferența între temperatura conductorului și cea a aerului înconjurător.

10. Metoda expusă mai sus pentru dimensionarea conductorilor la stabilitate termică în caz de scurt-circuit este extrasă din prescripțiile VDE 0103/1.61.

11. Nu se dimensionează la stabilitate termică în caz de scurt-circuit conductorii care alimentează transformatoare de tensiune, condensatoare de cuplare sau descărcătoare.

Pentru conductorii care alimentează descărcătoare, se vor respecta indicațiile cuprinse în instrucțiunile de proiectare pentru alegerea descărcătoarelor.

4.1.4. *Efectul corona*

1. Acest criteriu se ia în considerare în cazul tensiunilor nominale de 35 kV sau mai mult.

2. Conductorul va fi astfel ales, încît tensiunea critică de efect corona U_{cr} pe timp frumos să fie mai mare decît tensiunea maximă de funcționare U_m:

$$U_m < U_{cr}$$

3. Tensiunea critică de efect corona pe timp frumos în cazul a 3 conductori (sistem trifazat) dispuși în același plan rezultă din relația:

$$U_{cr} = 33\,\delta\,d\,\log_{10}\frac{2a}{d} \quad (\text{kV})\ ^{*)}$$

*) Coeficientul 33 rezultă din ipotezele: $m_1 = 0{,}82$ (coef. referitor la starea suprafeței conductorului), $m_2 = 1$ (timp frumos). Pentru conductorul din mijloc $U_{cr} = 0{,}96 \times 84 \times 0{,}82 \times 1 \times \delta\frac{d}{2}\log\frac{2a}{d} = 33\,\delta\,d\log\frac{2a}{d}$ [5].

unde :

$\delta = \frac{3{,}92\,b}{273+\theta_a}$ (densitatea relativă a aerului)

b = presiunea barometrică în cm col. Hg

0 m altitudine b = 76 cm *)
500 „ „ 71,5 „
1000 „ „ 67,5 „
1500 „ „ 63,5 „

θ_a = temperatura maximă a aerului, conf. 4.1.2.2. (°C)
a = distanța între axele conductorilor (cm)
d = diametrul conductorului (cm)

4. O metodă de calcul mai exactă, valabilă și în cazul conductorilor fasciculați, este indicată în anexă. Prin folosirea conductorilor fasciculați, se reduce diametrul minim necesar

4.2. Calculul mecanic

4.2.1. *Criteriile de calcul*

1. Se iau în considerare în calcul sarcinile care acționează asupra următoarelor elemente : conductori, izolatori, legături la aparate, cleme etc.

2. Se consideră următoarele categorii de sarcini :
- Greutatea proprie
- Sarcinile suplimentare de natură atmosferică (chiciură și vînt)
- Sarcinile electrodinamice la scurt-circuit.

3. Calculul se execută pentru următoarele stări :

Starea	Temperatura	Viteza vîntului	Chiciura	Scurt-circuit
I	minimă θ_{min}	—	—	—
II	— 5° C	maximă v_{max}	—	—
III	— 5° C	v_c	da	—
IV	+ 70° C	—	—	—
V	— 5° C	v_c	da	maxim

*) Hütte, vol. 1. Ed. AGIR, Buc. 1947, pag. 515.

De asemenea, în vederea executării operațiunilor de montare, se vor calcula tabele de eforturi și săgeți pentru următoarele condiții : lipsesc chiciura și vîntul, legăturile la aparate nu sînt montate (cu excepția celor nedemontabile), temperaturi din 10° în 10°C într-un domeniu de temperaturi în care se presupune că se pot executa lucrările de montare. În țara noastră, se admite că montarea se poate executa între —20°C și +40°C inclusiv.

Indicații asupra condițiilor meteorologice sînt date la pct. 4.2.2.

In cazul zonelor geografice din afara țării noastre în care condițiile meteorologice sînt mult diferite de cele din R. S. România, se vor lua în considerare alte stări de calcul, adecvate situației. Ele vor fi aprobate de forurile competente.

4. Calculul se întocmește fixîndu-se în prealabil o valoare maximă pentru săgeată sau pentru efortul de tracțiune, valoare atinsă efectiv la una din stări.

Se recomandă ca săgeata maximă măsurată pe direcție verticală să fie cuprinsă în intervalul 3 ... 6% din deschidere.

5. Rezistențele în conductor la stările I, II, III și IV nu trebuie să depășească 1/4 din rezistența de rupere. In cazul conductorilor neomogeni, condiția se aplică fiecăruia din elementele componente în parte, ținîndu-se seama de asemenea de solicitările suplimentare datorate diferențelor de dilatare termică (presupuse nule la +15°C). Repartiția eforturilor în conductorii neomogeni este arătată în anexa 5, iar rezistența admisibilă în anexa 6.

Eforturile în izolatorii de suspensie la stările I, II, III și IV nu trebuie să depășească 1/4 din sarcina de încercare sub tensiune electrică. Pentru izolatorii la care nu este definită sarcina de încercare sub tensiune electrică, se va stabili de la caz la caz sarcina corespunzătoare.

Rezistențele în conductor și eforturile în izolatorii de suspensie la starea V nu vor depăși de două ori valoarea admisibilă la celelalte stări. In cazul conductorilor neomogeni, condiția se aplică fiecăruia din elementele componente în parte, conform anexelor 5 și 6.

In condițiile meteorologice din alte țări se mențin coeficienții de siguranță menționați în aliniatele precedente.

6. In calcul se admite de regulă ipoteza construcțiilor de susținere perfect rigide. Se poate lua în considerare flexibilitatea acestor construcții în cazul eforturilor importante.

7. Conducerea calculului este arătată la 4.2.5. și următoarele.

8. Nu este necesară luarea în considerare în calcul a eforturilor electrodinamice la scurt-circuit, decît dacă puterea de scurt-circuit trifazat depășește o anumită valoare minimă. În funcție de tensiunea nominală a rețelei, se recomandă următoarele valori minime ale puterii inițiale de scurt-circuit trifazat:

110 kV	3000	MVA
220 „	6000	„
400 „	12000	„

La valori mai mici ale puterii inițiale de scurt-circuit trifazat, nu este necesar calculul mecanic la starea V.

9. Calculul mecanic expus în continuare permite calcularea deplasării laterale a conductorului sub acțiunea vîntului sau a forțelor electrodinamice de scurt-circuit, considerate ca forțe statice, fără a ține seama de efectul dinamic, care conduce la balansarea conductorilor.

Pînă la elaborarea unei metode de calcul pentru fenomenul dinamic, calculul static poate contribui la determinarea distanței minime între faze sau față de piesele legate la pămînt. În poziția deplasată a conductorilor, se recomandă următoarele distanțe minime, în funcție de tensiunea nominală (după [2] — tab. II — 5 — 13, pag. 197):

35 kV	20	cm
110 „	45	„
220 „	95	„
400 „	170	„

Ultima valoare este interpolată.

10. În cazul conductorilor fasciculați, apare la scurt-circuit un efort suplimentar, în afara celui calculat cu metoda expusă la 4.2.5. și următoarele. Acest efort suplimentar comportă o valoare inițială de șoc și o valoare mai mică de durată (pînă la întreruperea curentului de defect). În anexa 16 sînt indicate detalii suplimentare asupra acestei probleme.

4.2.2. *Condiții meteorologice*

1. Pentru calculul mecanic se vor folosi datele meteorologice statistice ale regiunii de amplasare.

Greutatea depunerilor de chiciură, viteza maximă a vîntului v_{max}, viteza vîntului v_c cînd există chiciură și temperatură minimă θ_{min}, vor fi cele mai defavorabile care apar simultan sau nu, cel puțin o dată la 10 ani pentru stațiile de 110 kV sau

mai mult și cel puțin o dată la 5—10 ani (după importanța stației) pentru stațiile cu tensiuni mai mici.

Pentru țara noastră, datele considerate în calcul nu vor fi mai favorabile decît cele cuprinse în anexele 3 și 4.

2. Dacă pentru instalații situate în România nu se cunosc datele meteorologice statistice ale regiunii de amplasare, se vor adopta datele limită din anexele 3 și 4.

Dacă însă specificul regiunii respective indică posibilitatea unor condiții meteorologice deosebit de defavorabile, se vor adopta alte date de calcul, avizate de Comisia Tehnică Internă (CTI) a unității de proiectare (eventual de Consiliul Tehnico-Științific al ministerului), pe baza unei documentații justificative. Se recomandă coordonarea acestor date cu cele adoptate pentru liniile aeriene de înaltă tensiune care se racordează la stația electrică respectivă.

3. În toate cazurile, temperatura maximă a conductorilor se consideră de + 70°C.

4.2.3. *Elementele geometrice ale deschiderii*

1. Lungimea deschiderii este determinată de ochiurile cîrligelor atașate de suporți, de care se prind lanțurile de izolatori.

2. Lungimea lanțurilor de izolatori este definită ca distanța dintre ochiul cîrligului de tracțiune atașat de suport și axul de rotire al clemei de tracțiune sau terminale. Lungimile elementelor componente standardizate în România sînt indicate în anexă.

Pentru lanțurile uzuale, sînt indicate în tabelele anexate lungimile totale.

3. Întreaga deschidere se împarte în intervale omogene. Punctele de separație ale intervalelor se găsesc în locurile în care mărimea sarcinii sau proprietățile materialului prezintă o discontinuitate, de exemplu în dreptul sarcinilor concentrate (legături la aparate etc.), la legătura conductorului cu lanțul de izolatori etc.

Lanțurile de izolatori de suspensie cu capă constituie fiecare cîte un singur interval, iar cele formate din elemente de tip tijă constituie cîte un interval pentru fiecare element.

4. Intervalele se numerotează de la stînga la dreapta, începînd cu numărul 1. Forțele concentrate se numerotează cu același număr ca intervalul adiacent din stînga. De exemplu dacă între intervalele 4 și 5 există o forță concentrată, ea se marchează cu indicele 4.

Marcarea intervalelor și forțelor concentrate este arătată în fig. 4.

5. Se determină lungimile în metri ale intervalelor și cea a întregii deschideri, măsurate în lungul liniei care unește cele două puncte de suspensie ale conductorului. În cazul des-

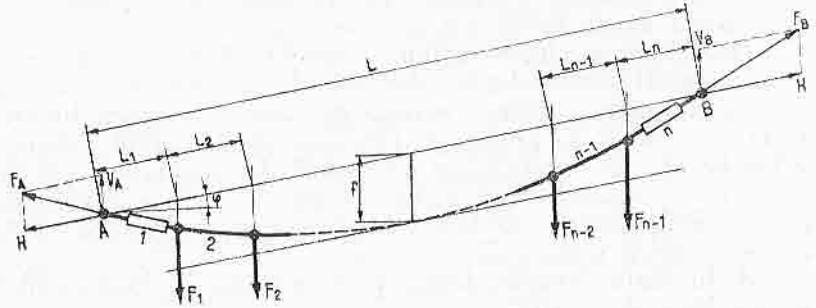


Fig. 4

chiderilor fără denivelare, lungimile se măsoară pe orizontală. Lungimile intervalelor se notează cu L_i (i fiind numărul intervalului), iar lungimea totală cu L.

Se atrage atenția că în cazul lanțurilor de izolatori în V lungimea intervalului diferă de lungimea lanțurilor (anexa 13).

4.2.4. *Sarcini.*

1. Pentru fiecare interval se determină următoarele sarcini uniform distribuite:

— Greutatea proprie	g	kg/m
— Greutatea proprie, inclusiv chiciura	g_c	kg/m
— Sarcina dată de vîntul cu viteza maximă cînd nu există chiciură	p	kg/m
— Sarcina dată de vîntul cu viteză medie cînd există chiciură	p_c	kg/m
— Sarcina dată de vîntul cu viteză medie cînd există chiciură, inclusiv efortul electrodinamic la scurt-circuit	p_{sc}	kg/m

2. Pentru fiecare sarcină concentrată se determină următoarele valori:

— Greutatea proprie	F	kg
— Greutatea proprie, inclusiv chiciura	F_c	kg
— Sarcina dată de vîntul cu viteza maximă cînd nu există chiciură	P	kg
— Sarcina dată de vîntul cu viteză medie cînd există chiciură	P_c	kg

3. Greutățile proprii ale conductorilor, izolatorilor și clemelor standardizate sau uzuale în România sînt indicate în anexă.

Sarcina corespunzătoare greutății proprii a lanțurilor de izolatori (kg/m) rezultă din împărțirea greutății totale a lanțului (izolatori plus cleme și armături) la lungimea lanțului (definită la 4.2.3.2.).

4. Greutatea proprie inclusiv chiciura rezultă din relațiile:

$$g_c = g + g'_c \quad \text{(kg/m)}$$

$$F_c = F + F'_c \quad \text{(kg)}$$

unde g'_c și F'_c sînt sarcinile date de chiciură, care rezultă din grosimea stratului de chiciură și din greutatea specifică a acesteia, conform condițiilor meteorologice corespunzătoare.

Sarcina dată de chiciură pe conductori este:

$$g'_c = \left[\frac{3{,}14\,(d + 2\,d')^2}{4} - \frac{3{,}14\,d^2}{4}\right] \cdot \frac{\gamma_c}{10} \quad \text{(kg/m)}$$

unde:

d = diametrul conductorului (cm)
d' = grosimea stratului de chiciură (cm)
γ_c = greutatea specifică a chiciurei (kg/dm³)

Sarcina dată de chiciură pe lanțurile de izolatori se poate determina cu formula aproximativă:

$$g'_c = 1{,}5 \left[\frac{3{,}14\,(D + 2\,d')^2}{4} - \frac{3{,}14\,D^2}{4}\right] \frac{\gamma_c}{10} \quad \text{(kg/m)}$$

unde:

D = diametrul umbrelei izolatorului (cm).

Coeficientul 1,5 ține seama de forma neregulată a suprafeței izolatorului.

În cazul izolatorilor de tip tijă se va folosi relația indicată pentru conductori, d fiind diametrul izolatorului.

Sarcinile date de chiciură pe conductorii, izolatorii și clemele uzuale în România sînt indicate în anexă.

5. Sarcina dată de vînt rezultă din relațiile aproximative:

a) Pentru conductori și izolatori de tip tijă:

$$p = k \cdot \frac{d}{100} \cdot \frac{v^2}{16} \quad \text{(kg/m)}$$

$$p_c = k \frac{d + 2\,d'}{100} \cdot \frac{v^2}{16} \quad \text{(kg/m)}$$

b) Pentru lanțuri de izolatori cu capă:

$$p = k \frac{D}{100} \cdot \frac{v^2}{16} \quad \text{(kg/m)}$$

$$p_c = k \frac{D + 2d'}{100} \cdot \frac{v^2}{16} \quad \text{(kg/m)}$$

unde:

v = viteza vîntului (m/s)

k = un coeficient aerodinamic, avînd următoarele valori:

1,1 — pentru conductori activi și de protecție cu diametrul de 2 cm sau mai mult, fără chiciură.

1,2 — pentru conductori activi și de protecție cu diametrul mai mic de 2 cm și pentru conductorii de orice diametru, acoperiți cu chiciură.

0,7 — pentru lanțurile de izolatori și pentru izolatorii de tip tijă, cu sau fără chiciură.

c) Pentru cleme și alte elemente similare:

$$P = k S \frac{v^2}{16} \quad \text{(kg)}$$

unde:

S = suprafața expusă vîntului, în proiecție pe un plan vertical (m²).

Coeficientul aerodinamic are valoarea $k = 1{,}2$.

Sarcina P_c dată de vînt cînd există chiciură se calculează cu aceeași relație, în care suprafața S include stratul de chiciură.

Sarcina dată de vînt, în diverse condiții meteorologice, asupra conductorilor, izolatorilor și clemelor standardizate sau uzuale în România este indicată în anexă.

6. Eforturile electrodinamice la scurt-circuit se calculează pentru scurt-circuitul bifazat. Se presupune că fazele afectate sînt alăturate. Se face ipoteza simplificatoare că efortul se aplică numai pe conductorii orizontali, legăturile la aparate nefiind afectate.

Efortul rezultă din relația:

$$q = 2{,}04 \times 10^{-2} \frac{I_{2po}^2}{a} \quad \text{(kg/m)}$$

unde:

I_{2po} = valoarea eficace inițială a componentei alternative a curentului de scurt-circuit bifazat (kA)

a = distanța între axele fazelor alăturate (m).

În cazul conductorilor fasciculați, efortul astfel calculat se aplică asupra întregului fascicol.

Se admite utilizarea relației aproximative:

$$I_{2po} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{3po} \quad \text{(kA)}$$

unde:

I_{3po} = valoarea eficace inițială a componentei alternative a curentului de scurt-circuit trifazat (kA).

În cazul conductorilor fasciculați, în afara efortului determinat cu relația de mai sus, este necesară calcularea efortului suplimentar de șoc datorat forțelor electrodinamice între conductorii fascicolului. Calculele se execută separat, conform anexei 16.

7. Sarcina dată de vîntul cu viteză medie cînd există chiciură, inclusiv efortul electrodinamic la scurt-circuit, rezultă din relația:

$$p_{sc} = p_c + q \quad \text{(kg/m)}$$

4.2.5. *Determinarea elementelor auxiliare pentru calcul*

1. Coeficienții de influență:

$$b_1 = \frac{1}{L}\left(\frac{L_1}{2} + \sum_2^n L_i\right)$$

$$\vdots$$

$$b_{n-1} = \frac{1}{L}\left(\frac{L_{n-1}}{2} + L_n\right)$$

$$b_n = \frac{1}{L} \cdot \frac{L_n}{2}$$

$$c_1 = \frac{1}{L} \sum_2^n L_i$$

$$\vdots$$

$$c_{n-1} = \frac{L_n}{L}$$

unde:

L_i este lungimea intervalului i, iar L lungimea totală a deschiderii.

Nu este necesară calcularea coeficienților de influență în cazul deschiderilor cu încărcări simetrice.

2. Sarcinile intervalelor, în plan vertical și în plan orizontal:

— În plan vertical, pentru intervalul i:

Stările I, II și IV: $G_i = g_i \; L_i$ (kg)

Stările III și V : $G_{ci} = g_{ci} \; L_i$ (kg)

— În plan orizontal, pentru intervalul i:

Starea II : $G'_i = p_i \; L_i$ (kg)

Starea III : $G'_{ci} = p_{ci} \; L_i$ (kg)

Starea V : $G'_{sci} = p_{sci} \; L_i$ (kg)

Calculele se execută pentru toate intervalele ($i = 1 \ldots n$).

3. Componentele verticale și orizontale ale reacțiunilor la capete:

— Componenta verticală:

Stările I, II și IV:

$$V_A = -\sum_1^n b_i \, G_i - \sum_1^{n-1} c_i \, F_i \quad \text{(kg)}$$

$$V_B = \sum_1^n G_i + \sum_1^{n-1} F_i + V_A \quad \text{(kg)}$$

Stările III și V:

$$V_A = -\sum_1^n b_i \, G_{ci} - \sum_1^{n-1} c_i \, F_{ci} \quad \text{(kg)}$$

$$V_B = \sum_1^n G_{ci} + \sum_1^{n-1} F_{ci} + V_A \quad \text{(kg)}$$

Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți) sînt valabile relațiile corespunzătoare stării I, în care sarcinile F_i sînt nule (cu excepția acelor legături la aparate care nu sînt demontabile).

— Componenta orizontală:

Stările I și IV: $W_A = W_B = 0$

Starea II:

$$W_A = -\sum_1^n b_i \, G'_i - \sum_1^{n-1} c_i \, P_i \quad \text{(kg)}$$

$$W_B = \sum_1^n G'_i + \sum_1^{n-1} P_i + W_A \quad \text{(kg)}$$

Starea III:

$$W_A = -\sum_1^n b_i \, G'_{ci} - \sum_1^{n-1} c_i \, P_{ci} \quad \text{(kg)}$$

$$W_B = \sum_1^n G'_{ci} + \sum_1^{n-1} P_{ci} + W_A \quad \text{(kg)}$$

Starea V:

$$W_A = -\sum_1^n b_i \, G'_{sci} - \sum_1^{n-1} c_i \, P_{ci} \quad \text{(kg)}$$

$$W_B = \sum_1^n G'_{sci} + \sum_1^{n-1} P_{ci} + W_A \quad \text{(kg)}$$

În cazul deschiderilor cu încărcări simetrice, se folosesc relațiile:

$$V_A = -V_B = -\frac{1}{2}\left(\sum_1^n G_i + \sum_1^{n-1} F_i\right) \quad \text{(kg)}$$

$$W_A = -W_B = -\frac{1}{2}\left(\sum_1^n G'_i + \sum_1^{n-1} P_i\right) \quad \text{(kg)}$$

în care G, G', F și P au valoarea corespunzătoare stării respective, iar pentru montare (tabele de eforturi și săgeți):

$$V_A = -V_B = -\frac{1}{2}\left(\sum_1^n G_i + \sum_1^{n-1} F_i\right) \quad \text{(kg)}$$

introducîndu-se în calcul numai forțele F corespunzătoarea legăturilor nedemontabile.

4. Componentele verticale V și orizontale W ale forțelor tăietoare la extremitățile intervalelor (se notează cu V_s și W_s

4.2.7. *Ecuația de stare*

1. Mărimile Φ necesare pentru determinarea ecuației de stare:

$$\Phi_1 = \sum_1^n \frac{V_{id}^3 - V_{is}^3}{g_i} \quad (\text{kg}^2\text{m})$$

$$\Phi_2 = \sum_1^n \frac{W_{id}^3 - W_{is}^3}{p_i} \quad (\text{kg}^2\text{m})$$

Calculul mărimii Φ_1 se întocmește pentru stările I—II—IV și III—V, precum și pentru montare (tabelele de eforturi și săgeți), înlocuind V și g cu valorile corespunzătoare stărilor respective (pentru montare intervin valorile stării I). Calculul mărimii Φ_2 se întocmește pentru stările II, III și V. La stările I și IV, precum și pentru montare, $\Phi_2 = 0$.

La calcularea mărimii Φ_1 pentru montare, se va observa că în lipsa legăturilor la aparate, în suma respectivă se pot face în general unele reduceri de termeni.

În intervalele corespunzătoare izolatoarelor de tip tijă, în locul expresiilor:

$$\frac{V_{id}^3 - V_{is}^3}{g_i} \quad \text{și} \quad \frac{W_{id}^3 - W_{is}^3}{p_i}$$

se vor utiliza expresiile:

$$3\,L_i\left(V_{is} + \frac{G_i}{2}\right)^2 \quad \text{și} \quad 3\,L_i\left(W_{is} + \frac{G_i'}{2}\right)^2$$

2. Coeficienții ecuației de stare:

$$K = \frac{1}{E\,\alpha\,s} \quad (°\text{C/kg})$$

$$A = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{6\,(L - L_{iz})\,\alpha} \quad (°\text{Ckg}^2)$$

unde: E = modulul de elasticitate echivalent al conductorului (kg/mm²)

α = coeficientul de dilatare termică echivalent al conductorului (°C⁻¹)

s = secțiunea totală a conductorului (mm²)

L = lungimea totală a deschiderii (m)

L_{iz} = lungimea totală a intervalelor corespunzătoare izolatorilor (m)

Valoarea coeficientului K este constantă pentru toate stările, iar valoarea coeficientului A variază cu starea.

3. Ecuația de stare:

$$KH^3 + (\theta + C)\,H^2 = A$$

unde:

H = componenta tracțiunii în conductor pe direcția dreptei AB care unește punctele de suspensie ale conductorului (fig. 4).

θ = temperatura corespunzătoare stării de calcul (°C).

C = o constantă care se determină pornind de la starea inițială, după cum se arată mai jos (°C).

Exprimînd pe H în tone, se obține o formă mai comodă a ecuației:

$$H^3 + \frac{\theta + C}{10^3\,K}\,H^2 = \frac{A}{10^9\,K}$$

4.2.8. *Determinarea eforturilor în conductor și a săgeților la diverse stări*

1. Dacă se pornește de la principiul stabilirii unor valori maxime ale eforturilor (conf. 4.2.1.4.), se stabilește efortul maxim H_M:

$$H_M < s \cdot \sigma_a \quad (\text{kg})$$

Efortul H_M va fi mai mic decît produsul $s \cdot \sigma_a$ și decît efortul admisibil în izolatori, astfel ca prin adunarea geometrică a mărimilor H, V și W în punctele de suspensie, așa cum se va arăta mai jos, tracțiunea T în conductor să nu depășească valoarea maximă admisibilă.

În cazul conductorilor neomogeni, rezistența admisibilă depinde de temperatură (conf. 4.2.1.5.), deci se va stabili o valoare H_M pentru fiecare stare.

Se calculează cîte o valoare a constantei C pentru fiecare stare:

$$C = \frac{A}{H_M^2} - K\,H_M - \theta \quad (°\text{C})$$

unde mărimile A, θ și H_M au valorile corespunzătoare stării respective.

Cea mai mare dintre valorile C astfel determinate este cea care se adoptă definitiv, iar starea corespunzătoare este starea inițială:

$$C = \max\,(C_I \ldots . C_V) \quad (°\text{C})$$

2. Dacă se pornește de la principiul stabilirii unei valori maxime a componentei verticale a săgeții (conf. 4.2.1.4.), se stabilește pentru fiecare stare efortul minim H_m :

$$H_m = \frac{M_m}{f_m} \quad \text{(kg)}$$

unde :

M_m = momentul tuturor forțelor verticale situate în stînga punctului de elongație maximă, față de acest punct, la starea respectivă, conf. 4.2.6.2. (kgm).

f_m = valoarea maximă a componentei verticale a săgeții (m).

Se calculează cîte o valoare a constantei C pentru fiecare stare :

$$C = \frac{A}{H_m^2} - K H_m - \theta \quad (^\circ C)$$

unde mărimile A, θ și H_m au valorile corespunzătoarea stării respective.

Cea mai mică dintre valorile C astfel determinate este cea care se adoptă definitiv, iar starea corespunzătoarea este starea inițială :

$$C = \min (C_I \ldots\ldots C_V) \quad (^\circ C)$$

3. Din ecuația de stare se determină pentru fiecare stare componenta H. Coeficientul K are aceeași valoare la toate stările, coeficienții A și θ depind de stare, iar coeficientul C are valoarea determinată mai sus.

La starea inițială trebuie să se obțină valoarea H_M sau H_m de la care s-a pornit (determinată la pct. 1 sau 2 precedent).

Rezolvarea ecuației de stare se face prin încercări sau direct pe rigla de calcul.

4. Se determină apoi săgeata maximă f la fiecare stare :

$$f = \frac{M_m}{H} \quad \text{(m)}$$

unde :

M_m = momentul tuturor forțelor verticale situate la stînga punctului de elongație maximă (kgm).

H = efortul la starea respectivă, determinat mai sus (kg).

Pentru calcularea elongației verticale a conductorului în diverse alte puncte, se folosește relația :

$$\eta = \frac{M_x}{H} \quad \text{(m)}$$

unde :

η = elongația conductorului în punctul respectiv, măsurată pe verticală de la dreapta AB care unește punctele de suspensie ale conductorului (fig. 4).

M_x = momentul față de punctul corespunzător al tuturor forțelor verticale situate la stînga punctului (kgm).

Se pot calcula, de asemenea, ordonatele y ale acestor puncte în raport cu capătul din stînga al deschiderii :

$$y = x \sin \varphi - \eta \quad \text{(m)}$$

unde x = abscisa punctului corespunzător, măsurată pe linia care unește punctele de suspensie ale conductorului, începînd de la capătul din stînga al deschiderii (m).

Valorile y pozitive reprezintă nivele superioare capătului din stînga al deschiderii.

Dacă este necesar, se poate determina săgeata maximă f' a conductorului pe orizontală :

$$f' = \frac{M'_m}{H} \quad \text{(m)}$$

unde :

M'_m = momentul tuturor forțelor orizontale situate la stînga punctului de elongație maximă (kgm).

5. Se verifică la toate stările îndeplinirea condiției :

$H \leqslant H_M$ (în cazul arătat la pct. 1 precedent)

$f \leqslant f_m$ (în cazul arătat la pct. 2 precedent)

Neîndeplinirea condiției indică o eroare de calcul.

6. Eforturile maxime în conductor și izolatori rezultă din adunarea geometrică a componentelor tracțiunii la capetele deschiderii :

$$T_A = \sqrt{H^2 + V_A^2 + W_A^2 + 2 V_A H \sin \varphi} \quad \text{(kg)}$$

$$T_B = \sqrt{H^2 + V_B^2 + W_B^2 + 2 V_B H \sin \varphi} \quad \text{(kg)}$$

Rezistența totală în conductor :

$$\sigma = \frac{\max (T_A, T_B)}{s} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Calculele se întocmesc pentru fiecare stare.

Rezistențele σ nu trebuie să întreacă rezistențele admisibile în conductori, iar forțele T nu trebuie să întreacă eforturile admisibile în izolatori. Valorile admisibile pentru materialele standardizate în România sînt indicate în anexă.

4.2.9. *Date pentru dimensionarea construcțiilor de susținere*

1. Eforturile transmise construcțiilor de susținere.

— Tracțiune orizontală pe direcția AB :

$$H' = H \cos \varphi \quad (\text{kg})$$

— Componentă verticală :

$$V'_A = -V_A - H \sin \varphi \quad (\text{kg})$$

$$V'_B = V_B + H \sin \varphi \quad (\text{kg})$$

— Componentă orizontală perpendiculară pe direcția AB :

$$W'_A = -W_A \quad (\text{kg})$$

$$W'_B = W_B \quad (\text{kg})$$

Calculele se întocmesc pentru fiecare stare în parte.

Se atrage atenția că unghiul φ este pozitiv cînd capătul din stînga al deschiderii este la un nivel inferior celui din dreapta (fig. 4).

2. Pentru dimensionarea construcțiilor de susținere se întocmește o temă, care poate fi prezentată sub forma arătată în anexa 15. Tema va cuprinde cotele principale și valorile componentelor H', V' și W' la stările I, II, III și V.

Se va menționa în mod clar că la starea V, valorile componentelor H' și W' indicate în tabel sînt valabile numai la două faze alăturate (aceleași faze în toate deschiderile), iar la a treia fază se mențin valorile corespunzătoare stării III. La cele două faze afectate, eforturile electrodinamice la scurt-circuit au sensuri contrare.

3. În funcție de situația particulară dată, se poate ține seama de faptul că nu toate celulele sînt parcurse simultan de curentul

maxim de scurt circuit. Considerarea acestei situații la dimensionarea construcțiilor de susținere se va aviza de către Comisia Tehnică Internă (C.T.I.) a organizației de proiectare și se va preciza în temă.

4. Construcțiile de susținere care în mod normal sînt supuse la tracțiune din două direcții opuse, pot fi eventual dimensionate la diferența tracțiunilor H' pe cele două părți și la tracțiunea H' a unui singur conductor.

De asemenea, se admite echilibrarea eforturilor transmise construcțiilor de susținere prin montarea unor conductori special destinați acestui scop.

Dimensionarea construcțiilor de susținere pe baza acestor situații se va aviza de către Comisia Tehnică Internă (C.T.I.) a organizației de proiectare și se va preciza în temă.

5. La starea I se consideră în plus următoarele sarcini suplimentare la montare pe construcțiile de susținere ale fiecărui circuit trifazat :

— Greutatea a 2 oameni cu uneltele respective (total 2×100 kg) în cea mai defavorabilă poziție.

— Sarcini provenind din ridicarea unor aparate, atunci cînd se folosesc dispozitive de ridicare fixate pe construcțiile de susținere.

Se poate ține seama de faptul că temperatura minimă la montare diferă de cea corespunzătoare stării I.

4.2.10. *Elemente pentru montare*

1. Cu ajutorul ecuației de stare, se determină componentele H ale tracțiunii în conductor pentru domeniul de temperaturi în care se presupune că se pot executa lucrările de montare (conf. 4.2.1.3.), din 10 în 10°C. Pentru țara noastră temperaturile sînt —20, —10, 0, +10, +20, +30 și +40°C. Valoarea coeficientului A este cea corespunzătoare situației la montare.

2. Se calculează apoi tracțiunile T_A și T_B la capete cu relațiile indicate la 4.2.8.6. Componentele V_A și V_B sînt cele corespunzătoare situației la montare, iar componentele W_A și W_B sînt nule.

3. Se calculează săgețile corespunzătoare cu relația :

$$f = \frac{M_m}{H} \quad (\text{m})$$

unde :

M_m = momentul tuturor forțelor verticale situate la stînga punctului de elongație maximă, corespunzător situației la montare (kgm).

4.2.11. *Dispoziții speciale ale izolatorilor*

1. În scopul reducerii deplasării laterale a conductorilor la vînt și scurt-circuit, se pot monta lanțuri duble de izolatori în V. Detalii sînt indicate în anexă.

4.2.12. *Eroarea de calcul sistematică*

1. Metoda de calcul expusă mai sus este afectată de două erori sistematice:

— Eroarea datorată utilizării parabolei în locul lănțișorului.

— Eroarea datorată neglijării termenilor de ordin superior la dezvoltarea în serie a expresiei care dă lungimea conductorului și conduce la definirea mărimilor Φ.

Aceste erori sînt de sens contrar și se compensează parțial. O determinare precisă a erorii este dificilă.

2. Se verifică pentru fiecare stare valabilitatea relațiilor folosite mai sus, prin satisfacerea inegalității:

$$y'^2_m + 2\, y'_m \mid \sin \varphi \mid + z'^2_m < 1$$

unde:

$$y'_m = \frac{\max\,(-V_A\,,\ V_B)}{H}$$

$$z'_m = \frac{\max\,(-W_A\,,\ W_B)}{H}$$

La numărător se introduce cea mai mare dintre valorile $-V_A$ și V_B, respectiv $-W_A$ și W_B.

Dacă inegalitatea nu este îndeplinită, metoda de calcul nu este valabilă, unghiul pe care îl formează conductorul cu dreapta AB la capete fiind prea mare.

3. După constatarea că relațiile folosite sînt valabile, se determină pentru fiecare stare o limită superioară ϱ a erorii relative, cu relația:

$$\varrho = 100\,\frac{y'^2_m + 2\, y'_m \mid \sin \varphi \mid}{2 - [y'^2_m + 2\, y'_m \mid \sin \varphi \mid]} \quad (\%)$$

Această relație este valabilă numai dacă este îndeplinită condiția:

$$z'_m < \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$$

În acest caz, eroarea relativă reală satisface relația:

$$\frac{|\Delta H|}{H} < \frac{\varrho}{100}$$

În condițiile de mai sus, erorile absolute ΔH sînt negative, adică eforturile H sînt în realitate mai mari decît cele determinate prin calcul, dar diferența nu depășește în modul valoarea:

$$|\Delta H| < \frac{\varrho\, H}{100} \quad (\text{kg})$$

Determinarea limitei superioare ϱ este obligatorie pentru toate stările, ca și verificarea de la pct. 2 precedent.

5. CONȚINUTUL PROIECTULUI

5.1. Memoriul tehnic

1. Datele care au stat la baza proiectării.

2. Descriere: conductori, izolatori, cleme. Probleme de montare și de exploatare. Eventuale mențiuni asupra calculului. Indicarea instrucțiunilor de proiectare și a altor surse după care a fost condus calculul.

3. Probleme de protecția muncii (atît la montare, cît și în exploatare).

4. Breviarele de calcul.

5. Tabelele de eforturi și săgeți pentru montare.

5.2. Materialul grafic

1. Se include în planurile privitoare la circuitele primare. Cuprinde indicarea în plan și în secțiune a conductorilor, izolatorilor și clemelor, eventual probleme de protecția muncii.

5.3. Documentația economică

1. Antemăsurătore.

2. Deviz.

Se includ în partea privitoare la circuitele primare.

6. BIBLIOGRAFIE

1. Jelleck, K.: Durchhangsberechnung von Spannfeldern in Freiluft-schaltanlagen, unter Berücksichtigung von Isolatorketten, Zusatzgewichten und Federgliedern.
Elin—Zeitschrift 15 (1963), 1, 15—21; 2 fig., 4 ref. bibl.

2. Regulile de amenajare a instalațiilor electrice. Editura Energia. Ed. a III-a. Moscova—Leningrad 1964.

3. V.D.E. 0103/1.61. Leitsätze für die Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Kurzschlussfestigkeit.

4. Voinea R., Voinea D.: Contribuții la calculul mecanic al conductorilor flexibili din stațiile electrice exterioare.
Energetica și Hidrotehnica 3 (1955), 10, 457—466; 9 fig., 6 tab., 6 ref. bibl.

5. Boțan N. V., Constantinescu E., Poeată A. I.: Rețele electrice — Partea electrică.
Editura Tehnică, Buc. 1961.

6. Küpfmüller K.: Einführung in die theoretische Elektrotechnik. Ediția a VII-a. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962.

7. Atwood A. T., Mills M. H., Downs D. I., Stone H. M.: Dynamic Behaviour of a 220 — kV Dead — End Suspension Bus During Short—Circuit. Power App. and Syst. 1962, iunie, 153—159; 26 fig., 2 tab., 5 ref. bibl.

8. Crug C. A.: Bazele electrotehnicii. Editura Tehnică Buc. 1952.

9. Hopper A.: Handbuch für Planung, Konstruktion und Montage von Schaltanlagen., Ediția a III-a. W. Girardet. Essen, 1965.

Conductori de oțel-aluminiu construcție normală 1/6 (STAS 3 000—64)

Sarcini de durată admisibile la temperatura maximă a conductorului de +70°C

Secțiunea nominală mm²	Curentul de durată admisibil la diverse temperaturi ale aerului (A)	
	+ 30° C	+ 40° C
50/8	205	175
70/12	260	225
95/15	315	270
120/21	360	310
150/25	420	360
185/32	485	420
240/40	575	495
300/50	665	575
400/75		
450/75		

Curentul admisibil la +30°C corespunde prescripției indicate la 2.2.2. Pentru +10°C s-a aplicat coeficientul de corecție prevăzut la 4.1.2.3.

Sarcinile admisibile indicate mai sus sînt valabile în exterior. Pentru interior ele trebuie multiplicate cu coeficientul 0,85.

Calculul tensiunii critice de efect corona

1. Tensiunea critică de efect corona pe timp frumos este acea valoare a tensiunii de funcţionare a instalaţiei, la care valoarea cîmpului electric la suprafaţa conductorilor este :

$$E_{cr} \cong 20\, m\, \delta \quad \text{(kV/cm, valoare eficace)}$$

unde : m = un coeficient referitor la starea suprafeţei conductorului (pentru conductori funie $m = 0{,}82$ iar pentru suprafeţe netede $m = 1$).

δ = densitatea relativă a aerului, care se determină conform prezentelor instrucţiuni (pct. 4.1.4.3.).

2. Valoarea reală a cîmpului electric E la suprafaţa conductorilor nu trebuie să depăşească valoarea critică E_{cr} determinată cu relaţia de mai sus.

3. Determinarea valorii reale E a cîmpului electric se poate face cu una dintre metodele expuse în continuare.

A. Metoda generală

1. Fie un sistem de n conductori 1, 2, 3 ... n orizontali şi paraleli, alimentaţi de un sistem trifazat de tensiuni :

$$U_R = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \sin \omega t$$

$$U_S = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$U_T = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

unde U_R, U_S şi U_T sînt tensiunile pe fază în raport cu pămîntul, iar U_m este tensiunea maximă de funcţionare a reţelei, între faze (valoare eficace).

Fiecare conductor este alimentat de una din cele 3 tensiuni sau este legat la pămînt (cazul conductorilor de gardă).

Se presupune că distanţele dintre conductori sînt relativ mari în raport cu diametrele lor.

Valoarea cîmpului electric E la suprafaţa unui conductor activ oarecare p este :

$$E_p = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_{fp}}{2\pi\varepsilon} \cdot \frac{1}{r_p} \quad \text{(kV/cm, valoare eficace)}$$

unde :

U_m = tensiunea maximă de funcţionare a reţelei, între faze (kV, valoare eficace).

C_{fp} = capacitatea de funcţionare a conductorului p în raport cu ceilalţi conductori şi cu pămîntul (F/km)

r_p = raza conductorului (cm)

ε = constanta dielectrică a aerului (F/km)

Capacitatea de funcţionare C_{fp} are valoarea :

$$C_{fp} = 2\pi\varepsilon \cdot B_p \quad \text{(F/km)}$$

unde :

B_p = un coeficient care depinde de elementele geometrice ale instalaţiei.

Deci valoarea cîmpului electric are expresia simplificată :

$$E_p = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B_p}{r_p} \quad \text{(kV/cm, valoare eficace)}$$

Coeficientul B_p se calculează astfel :

$$B_p = \sqrt{K_p^2 + 3\,(K_p'^2 + K_p''^2 + K_p K_p' + K_p K_p'' + K_p' K_p'')}$$

unde :

K_p = un coeficient care depinde de capacitatea parţială a conductorului p în raport cu pămîntul şi cu ceilalţi conductori legaţi la pămînt (conductori de gardă).

K_p' = un coeficient care depinde de capacitatea parţială a conductorului p în raport cu conductorii alimentaţi de tensiunea fazei a doua în ordine de succesiune (în raport cu faza conductorului p).

K_p'' = un coeficient care depinde de capacitatea parţială a conductorului p în raport cu conductorii alimentaţi de tensiunea fazei a treia în ordine de succesiune (în raport cu faza conductorului p).

Coeficienții K_p, K'_p și K''_p au valoarea:

$$K_p = \frac{1}{D}\left(\sum_{i=1}^{n} A_{pi} - \sum_{i=j}^{m} A_{pi}\right)$$

$$K'_p = -\frac{1}{D}\sum_{i=k}^{q} A_{pi}$$

$$K''_p = -\sum_{i=r}^{s} A_{pi}$$

În expresia sumelor de mai sus, numerele $j \ldots . m$ sînt ale conductorilor legați la pămînt, numerele $k \ldots . q$ sînt ale conductorilor alimentați de tensiunea fazei a doua în ordine de succesiune, iar numerele $r \ldots . s$ ale conductorilor alimentați de tensiunea fazei a treia în ordine de succesiune (în raport cu faza conductorului p).

$$D = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \ldots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \ldots & \alpha_{2n} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \ldots & \alpha_{nn} \end{vmatrix}$$

Mărimile A_{pi} sînt minorii determinantului D în raport cu elementele α_{pi} corespunzătoare. Se va ține seama de semnul minorilor. Se va observa de asemenea că $A_{ik} = A_{ki}$.

Valorile coeficienților de potențial α:

— Pentru coeficienții α cu ambii indici egali:

$$\alpha_{ii} = \ln \frac{2h_i}{r_i} = 2{,}3 \log_{10} \frac{2h_i}{r_i}$$

— Pentru coeficienții α cu indici diferiți:

$$a_{ik} = \ln \sqrt{\frac{4h_i h_k}{a_{ik}^2} + 1} = 2{,}3 \log_{10} \sqrt{\frac{4h_i h_k}{a_{ik}^2} + 1}$$

unde:

h_i = înălțimea față de sol a conductorului i (cm)
r_i = raza conductorului i (cm)
a_{ik} = distanța dintre conductorii i și k (cm)

Se va observa că determinantul D este simetric în raport cu diagonala principală.

Coeficientul K_p calculat mai sus trebuie mărit cu cca. 5...10%, pentru a ține seama de efectul cadrelor, aparatelor sau al altor elemente din apropiere legate la pămînt.

2. În cazul unui conductor fasciculat compus din m conductori așezați în vîrfurile unui poligon regulat (fig. 5), relațiile de mai sus rămîn valabile în principiu, cu modificările arătate mai jos.

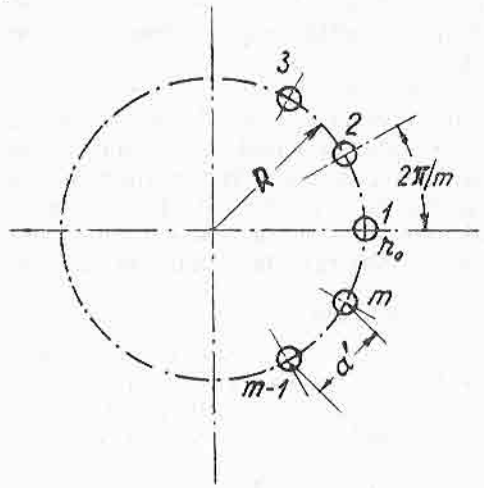


Fig. 5

Cîmpul electric are valoarea:

$$E_p = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_{fp}}{2\pi\varepsilon m}\left[\frac{1}{r_0} + \frac{(m-1)\sin\frac{\pi}{m}}{a'}\right] =$$

$$= \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B_p}{m}\left[\frac{1}{r_0} + \frac{(m-1)\sin\frac{\pi}{m}}{a'}\right] \text{ (kV/cm, valoare eficace)}$$

unde:

m = numărul conductorilor fasciculului
r_0 = raza conductorilor din care este format fasciculul (cm).
a' = distanța dintre doi conductori alăturați (fig. 5) ai fasciculului (cm).

Coeficienții de potențial cu ambii indici egali au valoarea:

$$\alpha_{ii} = \ln \frac{2h_i}{R_i'} = 2{,}3 \log_{10} \frac{2h_i}{R_i'}$$

unde:

R_i' = raza echivalentă a fascicolului de conductori i (cm)

$$R_i' = R_i \sqrt[m]{\frac{m r_0}{R_i}} \quad \text{(cm)}$$

R_i = raza reală (fig. 5) a fascicolului de conductori i (cm)

Coeficienții de potențial α_{ik} cu indici diferiți au valoarea arătată anterior.

3. Metoda generală expusă mai sus permite calcularea exactă a efectului corona în cazul unui număr mai mare de conductori, de exemplu în cazul conductorilor unei celule, ținîndu-se seama și de efectul conductorilor din celulele alăturate. Nu se va lua în considerare efectul conductorilor prea îndepărtați. Calculele se vor efectua cel puțin pentru faza din mijloc, care este în general mai solicitată la efectul corona.

B. Metoda simplificată

1. În cazul unui sistem trifazat compus din 3 conductori, neglijîndu-se influența conductorilor din celulele vecine, se obțin relații de calcul mai simple. În acest scop se adoptă valori medii pentru coeficienții de potențial α:

$$\alpha_1 = \frac{1}{3}(\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13}) = \ln \frac{2h}{r} = 2{,}3 \log_{10} \frac{2h}{r}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{3}(\alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{23})$$

unde:

$h = \sqrt[3]{h_1 h_2 h_3}$ (media geometrică a înălțimilor conductorilor față de sol, în cm)

r = raza conductorului (cm)

Coeficienții α_{12}, α_{13} și α_{23} au valorile indicate anterior pentru metoda generală.

Capacitatea de funcționare și coeficientul B:

$$C_f = \frac{2\pi\varepsilon}{\alpha_1 - \alpha_2} \quad \text{(F/km)}$$

$$B = \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

Valoarea C_f sau B astfel determinată trebuie mărită cu 2...5%, pentru a ține seama de efectul cadrelor, aparatelor sau al altor elemente din apropiere legate la pămînt.

Cîmpul electric la suprafața conductorului:

$$E = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_f}{2\pi\varepsilon} \cdot \frac{1}{r} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{r} \quad \text{(kV/cm, valoare eficace)}$$

2. Metoda poate fi simplificată și mai mult, prin neglijarea influenței pămîntului. Această ipoteză este aplicabilă de exemplu în cazul conductorilor suspendați de cadre, cînd distanțele față de sol sînt mari în comparație cu distanțele dintre conductori.

Se adoptă de asemenea valori medii pentru coeficienții de potențial α.

Capacitatea de funcționare și coeficientul B:

$$C_f = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln \frac{a}{r}} = \frac{2\pi\varepsilon}{2{,}3 \log_{10} \frac{a}{r}} \quad \text{(F/km)}$$

$$B = \frac{1}{\ln \frac{a}{r}} = \frac{1}{2{,}3 \log_{10} \frac{a}{r}}$$

unde:

$a = \sqrt[3]{a_{12} a_{13} a_{23}}$ (media geometrică a distanțelor dintre conductori, în cm).

r = raza conductorului (cm)

Valoarea C_f sau B astfel determinată trebuie mărită cu 2...5%, pentru a ține seama de efectul cadrelor, aparatelor sau al altor elemente din apropiere legate la pămînt.

Cîmpul electric la suprafața conductorului:

$$E = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_f}{2\pi\varepsilon} \cdot \frac{1}{r} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{r} \quad \text{(kV/cm, valoare eficace)}$$

3. În cazul conductorilor fasciculați, raza r care intervine la calcularea coeficientului de potențial α_i sau a mărimilor C_f și B se înlocuiește cu raza echivalentă R' a fascicolului:

$$R' = R \sqrt[m]{\frac{m r_0}{R}} \quad \text{(cm)}$$

unde:

R = raza reală a fascicolului de conductori, conf. fig. 5 (cm)
r_0 = raza unui conductor al fascicolului (cm)
m = numărul de conductori ai fascicolului

Cîmpul electric la suprafața conductorilor:

$$E = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{C_f}{2\pi\varepsilon m}\left[\frac{1}{r_0} + \frac{(m-1)\sin\frac{\pi}{m}}{a'}\right] =$$

$$= \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{m}\left[\frac{1}{r_0} + \frac{(m-1)\sin\frac{\pi}{m}}{a'}\right] \text{(kV/cm, valoare eficace)}$$

unde: m, r_0 și a' au semnificațiile arătate anterior.

Exemplul de calcul 1

1. Se consideră conductorii de legătură între aparate într-o celulă de 220 kV. Se folosesc conductori simpli 01—Al 450/75 mm². Din cauza înălțimii reduse deasupra solului, se ține seama de efectul acestuia. Se neglijează însă influența conductorilor din celulele învecinate. Conductorii se găsesc în același plan orizontal. Datele necesare sînt următoarele:

Numerotarea conductorilor: faza R—1
faza S—2
faza T—3

Distanțele dintre conductori:

$$a_{12} = a_{23} = a_{21} = a_{32} = 4 \text{ m}$$

$$a_{13} = a_{31} = 8 \text{ m}$$

Înălțimea față de sol:

$$h_1 = h_2 = h_3 = h = 4 \text{ m}.$$

Raza conductorului: $r = 1{,}46$ cm
Altitudinea instalației: 500 m
Temperatura maximă a aerului: $\theta_a = +40°C$.

2. Cîmpul electric admisibil la suprafața conductorului.
Presiunea barometrică (conf. 4.1.4.3):

$$b = 71{,}5 \text{ cm col. Hg.}$$

Densitatea relativă a aerului:

$$\delta = \frac{3{,}92\ b}{273 + \theta_a} = \frac{3{,}92 \times 71{,}5}{273 + 40} = 0{,}895.$$

Coeficientul referitor la starea suprafeței conductorului:

$$m = 0{,}82$$

Cîmpul electric admisibil:

$$E_{cr} = 20\ m\ \delta = 20 \times 0{,}82 \times 0{,}895 = 14{,}7 \text{ kV/cm}$$

3. Cîmpul real la suprafața conductorului (metoda generală)

Coeficienții de potențial:

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} = \alpha_{33} = 2{,}3 \log_{10}\frac{2h}{r} = 2{,}3 \log_{10}\frac{2 \times 400}{1{,}46} = 6{,}3$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{21} = \alpha_{32} = 2{,}3 \log_{10}\sqrt{\frac{4h^2}{a_{12}^2} + 1} =$$

$$= 2{,}3 \log_{10}\sqrt{\frac{4 \times 400^2}{400^2} + 1} = 0{,}805$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{31} = 2{,}3 \log_{10}\sqrt{\frac{4h^2}{a_{13}^2} + 1} = 2{,}3 \log_{10}\sqrt{\frac{4 \times 400^2}{800^2} + 1} =$$

$$= 0{,}345.$$

Valorile determinanților:

$$D = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 6{,}3 & 0{,}805 & 0{,}345 \\ 0{,}805 & 6{,}3 & 0{,}805 \\ 0{,}345 & 0{,}805 & 6{,}3 \end{vmatrix} = 249$$

$$A_{11} = \begin{vmatrix} \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 6{,}3 & 0{,}805 \\ 0{,}805 & 6{,}3 \end{vmatrix} = 39$$

$$A_{12} = A_{21} = -\begin{vmatrix} \alpha_{21} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{33} \end{vmatrix} = -\begin{vmatrix} 0{,}805 & 0{,}805 \\ 0{,}345 & 6{,}3 \end{vmatrix} = -4{,}79$$

$$A_{13} = \begin{vmatrix} \alpha_{21} & \alpha_{22} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0{,}805 & 6{,}3 \\ 0{,}345 & 0{,}805 \end{vmatrix} = 1{,}52$$

$$A_{22} = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{13} \\ \alpha_{31} & \alpha_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 6,3 & 0,345 \\ 0,345 & 6,3 \end{vmatrix} = 39,7$$

$$A_{23} = -\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} \end{vmatrix} = -\begin{vmatrix} 6,3 & 0,805 \\ 0,345 & 0,805 \end{vmatrix} = -4,79$$

Coeficienții K pentru conductorul 1 :

$$K_1 = \frac{1}{D}(A_{11} + A_{12} + A_{13}) = \frac{1}{249}(39 - 4,79 + 1,52) = 0,144$$

$$K_1' = -\frac{1}{D}A_{12} = \frac{1}{249} \times 4,79 = 0,0192$$

$$K_1'' = -\frac{1}{D}A_{13} = -\frac{1}{249} \times 1,52 = -0,0061$$

Coeficientul K_1 trebuie mărit cu cca. 5% :

$$K_1 = 1,05 \times 0,144 = 0,151$$

Coeficienții K pentru conductorul 2 :

$$K_2 = \frac{1}{D}(A_{21} + A_{22} + A_{23}) = \frac{1}{249}(-4,79 + 39,7 - 4,79) = 0,121$$

$$K_2' = -\frac{1}{D}A_{23} = \frac{1}{249} \times 4,79 = 0,0192$$

$$K_2'' = -\frac{1}{D} \cdot A_{21} = \frac{1}{249} \times 4,79 = 0,0192$$

Coeficientul K_2 trebuie mărit cu cca. 5% :

$$K_2 = 1,05 \times 0,121 = 0,127$$

Coeficientul B pentru conductorul 1 (faza R) :

$$B_1 = \sqrt{K_1^2 + 3\,(K_1'^2 + K_1''^2 + K_1 K_1' + K_1 K_1'' + K_1' K_1'')} =$$

$$= \sqrt{0,151^2 + 3\,(0,0192^2 + 0,0061^2 + 0,151 \times 0,0192 - 0,151 \times 0,0061 - 0,0192 \times 0,0061)} = 0,172$$

Coeficientul B pentru conductorul 2 (faza S) :

$$B_2 = \sqrt{K_2^2 + 3\,(K_2'^2 + K_2''^2 + K_2 K_2' + K_2 K_2'' + K_2' K_2'')} =$$

$$= \sqrt{0,127^2 + 3\,(0,0192^2 + 0,0192^2 + 0,127 \times 0,0192 + 0,127 \times 0,0192 + 0,0192 \times 0,0192)} = 0,185$$

Cîmpul electric la suprafața conductorilor :

$$E_1 = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B_1}{r} = \frac{245}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0,172}{1,46} = 16,7 \text{ kV/cm}$$

$$E_2 = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B_2}{r} = \frac{245}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0,185}{1,46} = 17,9 \text{ kV/cm}$$

Se constată că diametrul conductorului este prea mic.

4. Utilizînd metoda simplificată, se obține :

$$\alpha_1 = 2,3 \log_{10} \frac{2h}{r} = 2,3 \log_{10} \frac{2 \times 400}{1,46} = 6,3$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{3}(\alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{23}) = \frac{1}{3}(0,805 + 0,345 + 0,805) = 0,651$$

Coeficienții α_{12}, α_{13} și α_{23} au fost calculați la pct. 3 precedent.

Coeficientul B :

$$B = \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2} = \frac{1}{6,3 - 0,651} = 0,177$$

Valoarea determinată trebuie mărită cu cca 5% :

$$B = 1,05 \times 0,177 = 0,186$$

Cîmpul electric la suprafața conductorului :

$$E = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{r} = \frac{245}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0,186}{1,46} = 18 \text{ kV/cm}$$

Se constată că rezultatul este suficient de exact.

5. Neglijînd influența pămîntului, rezultă :

$$a = \sqrt[3]{a_{12}\, a_{13}\, a_{23}} = \sqrt[3]{400 \times 800 \times 400} = 503 \text{ cm}$$

$$B = \frac{1}{2,3 \log_{10} \frac{a}{r}} = \frac{1}{2,3 \log_{10} \frac{503}{1,46}} = 0,171$$

Valoarea determinată trebuie mărită cu cca 5% :

$$B = 1{,}05 \times 0{,}171 = 0{,}180$$

$$E = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{r} = \frac{245}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0{,}180}{1{,}46} = 17{,}4 \text{ kV/cm}.$$

Rezultatul este prea mic pentru conductorul din mijloc, dar diferența este redusă. Influența pământului se resimte în special la conductorii situați la mică înălțime în raport cu distanțele dintre ei.

Exemplul de calcul II

1. Se consideră un sistem de bare colectoare de 220 kV. Se folosesc conductori dubli de Ol—Al 300/50 mm². Conductorii se găsesc în același plan orizontal. Datele necesare sînt următoarele :

Numerotarea conductorilor : faza R—1
faza S—2
faza T—3

Distanța dintre fazе :

$$a_{12} = a_{23} = 4{,}25 \text{ m}$$

$$a_{13} = 8{,}50 \text{ m}$$

Înălțimea față de sol : $h = 11{,}5$ m
Distanța între conductorii fascicolului : $a' = 20$ cm
Raza conductorilor : $r_0 = 1{,}21$ cm
Altitudinea instalației : 500 m
Temperatura maximă a aerului : $\theta_a = +40°$ C

2. Cîmpul electric admisibil la suprafața conductorului are valoarea calculată în exemplul 1 :

$$E_{cr} = 14{,}7 \text{ kV/cm}$$

3. Cîmpul real la suprafața conductorului, calculat cu metoda simplificată, ținînd seama de influența solului.

Raza echivalentă a fascicolului :

$$R' = R \sqrt{\frac{2 r_0}{R}} = 10 \sqrt{\frac{2 \times 1{,}21}{10}} = 4{,}9 \text{ cm}$$

Coeficienții de potențial :

$$\alpha_1 = 2{,}3 \log_{10} \frac{2h}{R'} = 2{,}3 \log_{10} \frac{2 \times 1150}{4{,}9} = 6{,}15$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{23} = 2{,}3 \log_{10} \sqrt{\frac{4h^2}{a_{12}^2} + 1} = 2{,}3 \log_{10} \sqrt{\frac{4 \times 1150^2}{425^2} + 1} = 1{,}7$$

$$\alpha_{13} = 2{,}3 \log_{10} \sqrt{\frac{4h^2}{a_{13}^2} + 1} = 2{,}3 \log_{10} \sqrt{\frac{4 \times 1150^2}{850^2} + 1} = 1{,}06$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{3}(\alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{23}) = \frac{1}{3}(1{,}7 + 1{,}06 + 1{,}7) = 1{,}49$$

Coeficientul B :

$$B = \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2} = \frac{1}{6{,}15 - 1{,}49} = 0{,}214$$

Valoarea de mai sus trebuie mărită cu cca 3% :

$$B = 1{,}03 \times 0{,}214 = 0{,}22$$

Cîmpul electric la suprafața conductorului :

$$E = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{B}{m} \left[\frac{1}{r_0} + \frac{(m-1) \sin \frac{\pi}{m}}{a'} \right] =$$

$$= \frac{245}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0{,}22}{2} \left[\frac{1}{1{,}21} + \frac{(2-1) \sin \frac{\pi}{2}}{20} \right] = 13{,}6 \text{ kV}.$$

4. Cîmpul real la suprafața conductorului, calculat cu metoda simplificată, fără a ține seama de influența solului.

$$a = \sqrt[3]{a_{12} a_{13} a_{23}} = \sqrt[3]{425 \times 850 \times 425} = 535 \text{ cm}$$

$R' = 4{,}9$ cm (valoare calculată mai sus)

$$B = \frac{1}{2{,}3 \log_{10} \frac{a}{R'}} = \frac{1}{2{,}3 \log_{10} \frac{535}{4{,}9}} = 0{,}214.$$

Valoarea de mai sus trebuie mărită cu cca 3% :

$$B = 1{,}03 \times 0{,}214 = 0{,}22$$

Cîmpul electric la suprafața conductorului are valoarea găsită mai sus :

$$E = 13{,}6 \text{ kV/cm}$$

Se constată că în acest caz influența solului este neglijabilă.

Anexa 4

Condiții meteorologice limită în România

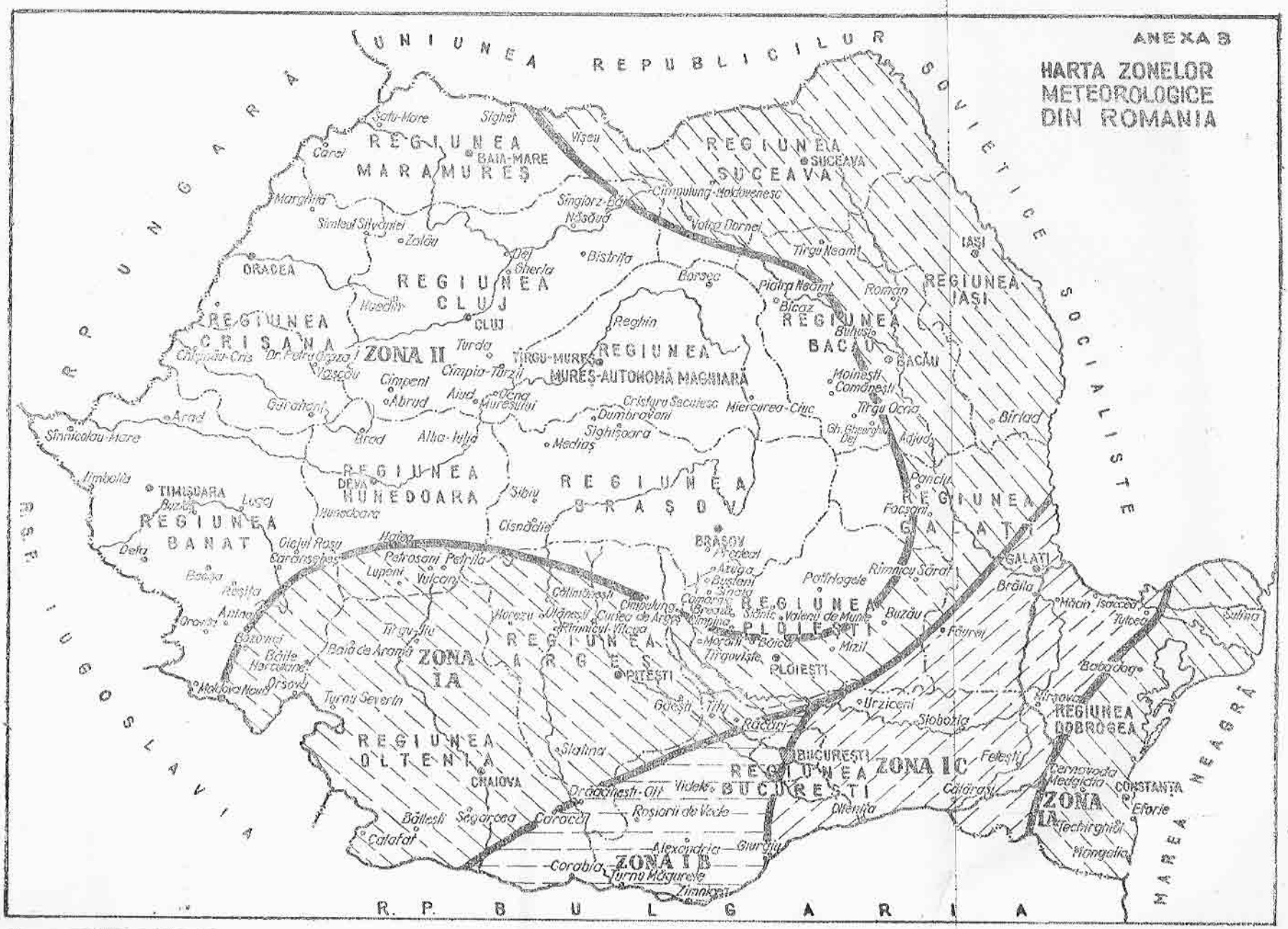
Condiții de calcul	Zona meteorologică				Zone de munte cu altitudine peste 1000 m
	I			II	
	I_A	I_B	I_C		
Temperatura aerului (°C) :					
— cea mai ridicată *)	+ 40	+ 40	+ 40	+ 40	+ 30
— cea mai scăzută	— 30	— 30	— 30	— 30	— 30
— cînd conductorii sînt acoperiți cu chiciură	— 5	— 5	— 5	— 5	— 5
— cînd vîntul are viteza maximă	— 5	— 5	5	— 5	— 5
Viteza vîntului (m/s) :					
— maximă	30	30	30	25	35
— cînd conductorii sînt acoperiți cu chiciură	15	20	20	10	20
Grosimea stratului de chiciură, cu greutatea specifică 0,9 (cm)	1,7	2,0	1,7	1,3	3,4

La înălțimi cuprinse între 30...50 m deasupra solului, viteza vîntului indicată mai sus se multiplică cu coeficientul 1,15.

*) La altitudini mai mari de 700 m, valoarea de +40° C se reduce la +30° C.

ANEXA 3

HARTA ZONELOR METEOROLOGICE DIN ROMANIA



Conductori neomogeni

Modulul de elasticitate echivalent, repartiția efortului, coeficientul de dilatare termică echivalent, rezistența admisibilă totală

Se consideră conductorul constituit din două elemente diferite (de exemplu aluminiu și oțel). Se notează:

s_1 = secțiunea elementului 1 (mm²)

s_2 = secțiunea elementului 2 (mm²)

$s = s_1 + s_2$ secțiunea totală (mm²)

$a = \frac{s_1}{s_2}$ raportul secțiunilor

I. Modulul de elasticitate echivalent

$$E = \frac{a E_1 + E_2}{a + 1}$$

unde: E = modulul de elasticitate echivalent (kg/mm²)

E_1 = modulul de elasticitate al elementului 1 (kg/mm²)

E_2 = modulul de elasticitate al elementului 2 (kg/mm²)

II. Repartiția efortului

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{\sigma_2}{E_2}$$

unde: σ = tensiunea raportată la secțiunea totală (kg/mm²)

σ_1 = tensiunea în elementul 1 (kg/mm²)

σ_2 = tensiunea în elementul 2 (kg/mm²)

Între eforturi și tensiuni (rezistențe) există relațiile:

$$\sigma = \frac{T}{s}$$

$$\sigma_1 = \frac{T_1}{s_1}$$

$$\sigma_2 = \frac{T_2}{s_2}$$

$$T = T_1 + T_2$$

unde: T = tracțiunea totală în conductor (kg)

T_1 = tracțiunea în elementul 1 (kg)

T_2 = tracțiunea în elementul 2 (kg)

III. Coeficientul de dilatare termică echivalent

$$\alpha = \frac{a E_1 \alpha_1 + E_2 \alpha_2}{a E_1 + E_2}$$

unde: α = coeficientul de dilatare termică echivalent ($°C^{-1}$)

α_1 = coeficientul de dilatare termică al elementului 1 ($°C^{-1}$)

α_2 = coeficientul de dilatare termică al elementului 2 ($°C^{-1}$)

IV. Rezistența admisibilă totală

1. Rezistențele suplimentare datorate dilatărilor termice

Se presupune că temperatura la care se face torsadarea conductorului compus este de +15° C. La alte temperaturi apar tensiuni suplimentare în elementele componente, din cauza diferențelor de dilatare termică:

$$\sigma'_1 = E_1 (\alpha - \alpha_1) (\theta - 15)$$

$$\sigma'_2 = E_2 (\alpha - \alpha_2) (\theta - 15)$$

unde:

σ'_1 = rezistența suplimentară în elementul 1 (kg/mm²)

σ'_2 = rezistența suplimentară în elementul 2 (kg/mm²)

θ = temperatura (°C).

2. Rezistențele admisibile în elementele componente.

$$\sigma_{a1} = \frac{\sigma_{r1}}{k} - \sigma'_1$$

$$\sigma_{a2} = \frac{\sigma_{r2}}{k} - \sigma'_2$$

unde:

σ_{a1} = rezistența admisibilă în elementul 1 (kg/mm²)
σ_{a2} = rezistența admisibilă în elementul 2 (kg/mm²)
σ_{r1} = rezistența de rupere a elementului 1 (kg/mm²)
σ_{r2} = rezistența de rupere a elementului 2 (kg/mm²)
k = coeficientul de siguranță

3. Rezistența admisibilă totală

Se calculează rezistențele totale corespunzătoare rezistențelor σ_{a1} și σ_{a2} în elementele componente:

$$\sigma'_a = \frac{E}{E_1}\sigma_{a1} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

$$\sigma''_a = \frac{E}{E_2}\sigma_{a2} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Rezistența admisibilă totală este cea mai mică dintre valorile astfel obținute:

$$\sigma_a = \min(\sigma'_a, \sigma''_a) \quad (\text{kg/mm}^2)$$

Conductori de oțel-aluminiu construcție normală 1/6 (STAS 3000—64)

Caracteristici tehnice

Caracteristici tehnice	Simbol	Unitatea de măsură	Secțiunea nominală (mm²)										
			50/8	70/12	95/15	120/21	150/25	185/32	240/40	300/50	400/7[illegible]	450/75
Secțiunea reală Al	s_{Al}	mm²	48,3	66,2	90,0	122,6	148,9	183,8	236,0	294,9	395,2	445,[illegible]
Secțiunea reală Ol	s_{Ol}	mm²	8,0	11,6	15,0	20,9	25,4	31,7	40,1	49,5	75,5	75,4
Secțiunea reală totală	s	mm²	56,3	77,8	105,0	143,5	174,3	215,5	276,1	344,4	470,7	520,5
Raportul secțiunilor s_{Al}/s_{Ol}	α	—	6,0	5,7	6,0	5,9	5,9	5,8	5,9	6,0	5,2	5,9
Diametrul conductorului	d	mm	9,6	11,6	13,4	15,7	17,3	19,2	21,7	24,2	28,2	29,2
Modul de elasticitate echivalent	E	kg/mm²	7660	7750	7760	7680	7680	7720	7680	7660	7920	7680
Coeficient de dilatare termică echivalent	α	10—6 °C—1	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	18,1	18,5
Greutatea proprie	g	kg/m	0,20	0,27	0,37	0,51	0,61	0,76	0,97	1,21	1,73	1,83

Modul de elasticitate: $E_{Al} = 5600$ kg/mm²
Coeficientul de dilatare termică: $\alpha_{Al} = 23 \times 10^{-6}$ °C—1
Rezistența admisibilă (cu coef. de siguranță 4): $\sigma_{aAl} = 4$ kg/mm²
Rezistența admisibilă totală:

La — 30°C, cu coef. de siguranță 4: $\sigma_a = 3{,}9$ kg/mm²
La — 5°C, " " " 4: $\sigma_a = 4{,}8$ kg/mm²
La — 5°C, " " " 2: $\sigma_a = 10{,}3$ kg/mm²
La + 70°C, " " " 4: $\sigma_a = 7{,}4$ kg/mm²

$E_{Ol} = 20.000$ kg/mm²
$\alpha_{Ol} = 11 \times 10^{-6}$ °C—1

$\sigma_{aOl} = 30$ kg/mm²

Anexa 7

Conductori de oțel-aluminiu construcție normală 1/6 (STAS 3000—64)

Sarcini suplimentare minime *)

Sarcini suplimentare minime	Simbol	Unitate de măsură	Zona meteorologică	Secțiunea nominală (mm²)									
				50/8	70/12	95/15	120/21	150/25	185/32	240/40	300/50	400/75	450/75
Greutatea proprie, inclusiv chiciura	g_c	kg/m	I_A și I_C	1,48	1,64	1,83	2,08	2,26	2,50	2,83	3,19	3,89	4,05
			I_B	1,87	2,06	2,26	2,52	2,72	2,97	3,32	3,71	4,44	4,60
			II	1,03	1,17	1,34	1,56	1,72	1,94	2,24	2,58	3,24	3,38
Sarcina vîntului pe conductorii fără chiciură	p	kg/m	I	0,65	0,78	0,91	1,06	1,17	1,30	1,34	1,50	1,74	1,81
			II	0,45	0,54	0,63	0,74	0,81	0,90	0,93	1,04	1,21	1,26
Sarcina vîntului pe conductorii acoperiți cu chiciură	p_c	kg/m	I_A	0,74	0,77	0,80	0,84	0,87	0,90	0,94	0,98	1,05	1,06
			I_B	1,49	1,55	1,61	1,67	1,72	1,78	1,85	1,93	2,05	2,08
			I_C	1,31	1,37	1,42	1,49	1,54	1,60	1,67	1,75	1,87	1,90
			II	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,41	0,42

*) Conform anexelor 3 și 4.

Anexa 8

Conductori funie de oțel zincat

Categ. C. — Rezistența de rupere 120 kg/mm² (STAS 3734—64)
Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime *)

Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime	Simbol	Unitatea de măsură	Zona meteorologică	Secțiunea nominală (mm²)					
				35	50	70	95	120	150
Secțiunea reală	s	mm²	—	34,4	48,3	65,8	93,3	116,2	147,1
Diametrul conductorului	d	mm	—	7,5	9,0	10,5	12,5	14,7	15,8
Greutatea proprie	g	kg/m	—	0,28	0,39	0,53	0,75	0,94	1,19
Greutatea proprie, inclusiv chiciura	g_c	kg/m	I_A și I_C	1,46	1,64	1,85	2,17	2,46	2,77
			I_B	1,84	2,03	2,24	2,58	2,90	3,21
			II	1,03	1,20	1,40	1,69	1,96	2,25
Sarcina vîntului pe conductorii fără chiciură	p	kg/m	I	0,51	0,61	0,71	0,84	0,99	1,07
			II	0,35	0,42	0,49	0,59	0,69	0,74
Sarcina vîntului pe conductorii acoperiți cu chiciură	p_c	kg/m	I_A	0,70	0,73	0,75	0,79	0,82	0,85
			I_B	1,43	1,47	1,52	1,58	1,64	1,68
			I_C	1,25	1,29	1,34	1,40	1,46	1,50
			II	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32

Modulul de elasticitate: $E = 20.000$ kg/mm²
Coeficientul de dilatare termică: $\alpha = 11 \times 10^{-6}\ ^{0}C^{-1}$

*) Conform anexelor 3 și 4.

Anexa 9

Elemente pentru lanțuri de izolatori de suspensie cu capă

Caracteristici tehnice

Denumirea	Lungimea mm	Greutatea kg	Efortul admisibil kg	STAS
Izolator de suspensie cu capă IC-170	170	7,5	750	3565 — 59
Izolator de suspensie cu capă IC-190	190	9,3	1125	3565 — 59
Clemă de tracțiune cu con TC II 50—70 Ol-Al	185	2,0	565	680 — 61
Clemă de tracțiune cu con TC II 95 Ol-Al	225	2,6	750	680 — 61
Clemă de tracțiune cu con TC III 120—150 Ol-Al	240	3,7	1250	680 — 61
Clemă de tracțiune cu con TC III 185—240 Ol-Al	260	6,6	1930	680 — 61
Clemă de tracțiune cu con TC IV 300 Ol-Al	280		2400	680 — 61
Clemă terminală cu con Tm B 50—70 Ol-Al	185	2,2	565	457 — 54
Clemă terminală cu con Tm B 95—120 Ol-Al	185	2,7	1030	457 — 54
Clemă terminală cu con Tm B 150—185 Ol-Al	185	3,6	1510	457 — 54
Clemă terminală cu con Tm B 240 Ol-Al	185	4,2	1930	457 — 54
Ochi de suspensie simplu OSs 16	64	0,4	1500	674 — 61
Ochi de suspensie simplu OSs 20	64	0,5	3000	674 — 61
Ochi de suspensie drept, cu gaură pentru armătura de protecție OS dr 16	110	1,2	1500	674 — 61
Idem, OS dr 20	140	1,2	3000	674 — 61
Ochi de suspensie răsucit, cu gaură pentru armătura de protecție OSr 16	110	1,2	1500	674 — 61
Idem, OSr 20	140	1,2	3000	674 — 61
Nucă cu ochi drept NOd 16	120	2,5	2000	675 — 61
Nucă cu ochi drept NOd 20	140	2,5	3000	675 — 61
Nucă cu ochi răsucit NOr 16	130	2,5	2000	675 — 61
Nucă cu ochi răsucit NOr 20	150	2,5	3000	675 — 61

— Lungimile înscrise în tabel sînt cele care determină lungimea lanțului de izolatori.
— Efortul admisibil corespunde coeficientului de siguranță 4.
— La clemele de tracțiune și terminale, sarcina de rupere a fost considerată egală cu cea a conductorului.

Anexa 10

Lanțuri de izolatori de suspensie cu capă

Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime*)

Denumirea	Simbol	Unitatea de măsură	Zona meteorologică	Numărul izolatorilor care compun lanțul					
				3	4	5	6	7	8
Lanțuri cu izolatori IC-170									
Lungimea	L	m	—	0,93	1,10	1,30	1,45	1,65	1,80
Greutatea proprie	g	kg/m	—	31	33	34	36	38	39
Greutatea proprie, incl. chiciura	g_c	kg/m	I_A și I_B	53	55	56	58	60	61
			II	47	49	50	52	54	55
Lanțuri cu izolatori IC-190									
Lungimea	L	m	—	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
Greutatea proprie	g	kg/m	—	35	37	38	39	41	42
Greutatea proprie, incl. chiciura	g_c	kg/m	I_A și I_B	57	59	60	61	63	64
			II	51	53	54	55	57	58

Se consideră următoarea componență a lanțurilor de izolatori:
— Cu izolatori IC-170: OSs 16, IC-170, NOr-16, TC III 120-150 Ol-Al (pentru 3—6 izolatori) sau TC III 185—240 Ol-Al (pentru 7—8 izolatori)

*) Conform anexelor 3 și 4.

— Cu izolatori IC-190 : OSs 20, IC-190, NOr-20, TC III 120—150 Ol-Al (pentru 3—6 izolatori) sau TC III 185—240 Ol-Al (pentru 7—8 izolatori)

Sarcina vîntului pe lanțurile de izolatori fără chiciură :

Zona I : $p = 11$ kg/m
Zona II : $p = 8$ kg/m

Sarcina vîntului pe lanțurile de izolatori cu chiciură :

Zona I_A : $p_c = 3{,}1$ kg/m
Zona I_B : $p_c = 5{,}6$ kg/m
Zona I_C : $p_c = 5{,}5$ kg/m
Zona II : $p_c = 1{,}3$ kg/m

Anexa 11

Cleme de derivație și de legătură

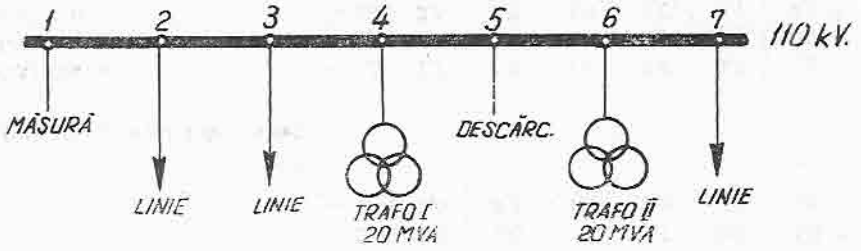
Caracteristici tehnice și sarcini suplimentare minime *)

Tipul clemei	Greutatea proprie G	Sarcini de calcul în diverse zone meteorologice (kg)									
		Greutatea proprie inclusiv chiciura G_c				Sarcina vîntului					
						Fără chiciură P		Cu chiciură P_c			
		I_A, I_C	I_B	II		I	II	I_A	I_B	I_C	II
Cleme de derivație aeriană pentru conductori de aluminiu și oțel-aluminiu (STAS 4171-64)											
CDA 2-Al	~ 2,0	2,5	2,6	2,4		0,7	0,6	0,3	0,6	0,5	0,1
CDA 3-Al	~ 4,0	5,0	5,3	4,8		1,3	0,9	0,6	1,3	1,0	0,2
Cleme de legătură electrică cu plăci de contact (STAS 296-60)											
LEPC 2 Ol-Al 50-70	~ 1,2	1,7	1,9	1,6		0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1
LEPC 2 Ol-Al 95-120	~ 1,8	2,5	2,6	2,2		0,5	0,3	0,2	0,5	0,4	0,1
LEPC 2 Ol-Al 150	~ 2,7	3,5	3,7	3,3		0,6	0,4	0,3	0,6	0,5	0,1
LEPC 2 Ol-Al 185-240	~ 4,3	5,4	5,6	5,0		0,9	0,6	0,4	0,8	0,7	0,2
LEPC 3 Ol-Al 300	~ 6,2	7,5	7,8	7,1		1,2	0,8	0,5	0,9	0,9	0,2
LEPC 3 Ol-Al 340-400	~ 9,9	11,6	12,0	11,1		1,7	1,2	0,6	1,2	1,1	0,3

*) Conform anexelor 3 și 4.

Determinarea puterii de tranzit a barelor colectoare

E x e m p l u



Ipotezele de funcționare considerate	Unit. de măsură	Putere livrată barelor în diverse puncte							Putere circulantă prin bare în diverse intervale					
		1	2	3	4	5	6	7	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7
Funcționare normală, puteri maxime	MW	—	30	—26	—12	—	—12	20	—	30	4	—8	—8	—20
	Mvar	—	10	—12	—2	—	—2	6	—	10	—2	—4	—4	—6
	MVA								—	31,6	4,5	9	9	20,9
Funcționează un singur transformator (I), supraîncărcat	MW	—	28	—26	—20	—	—	18	—	28	2	—18	—18	—18
	Mvar	—	10	—12	—4	—	—	6	—	0	—2	—6	—6	—6
	MVA								—	29,8	2,8	19	19	19
Funcționează un singur transformator (II), supraîncărcat	MW	—	28	—26	—	—	—20	18	—	28	2	2	2	—18
	Mvar	—	10	—12	—	—	—4	6	—	10	—2	—2	—2	—6
	MVA								—	29,8	2,8	2,8	2,8	19
Avarie în sistem. Linia 2 primește energie. Alimentare prin transf.	MW	—	—28	—20	14	—	14	20	—	—28	—48	—34	—34	—20
	Mvar	—	—10	—8	6	—	6	6	—	—10	—18	—12	—12	—6
	MVA								—	29,8	51,2	36,1	36,1	20,9
Avarie în sistem. Linia 7 primește energie. Alimentare prin transf.	MW	—	30	—20	—	—	6	—16	—	30	10	10	10	16
	Mvar	—	10	—8	—	—	2	—4	—	10	2	2	2	4
	MVA								—	31,6	10,2	10,2	10,2	16,5

Puterea circulantă maximă: 51,2 MVA

Puterea de tranzit aleasă: 80 MVA

Curentul maxim de regim: $\frac{80\,000}{\sqrt{3} \times 110} = 420$ A

Lanțuri de izolatori în V

Pentru a reduce deplasarea laterală a conductorilor la vînt și scurt-circuit, se pot folosi lanțuri duble de izolatori montate în V (fig. 6 și 7).

Cazul 1: un singur conductor pe fază.

Dacă se realizează legarea lanțurilor *AC* și *BC* (fig. 6) într-un singur punct *C* (fără jug intermediar), ia naștere un triunghi *ABC* nedeformabil, care nu se poate deplasa lateral.

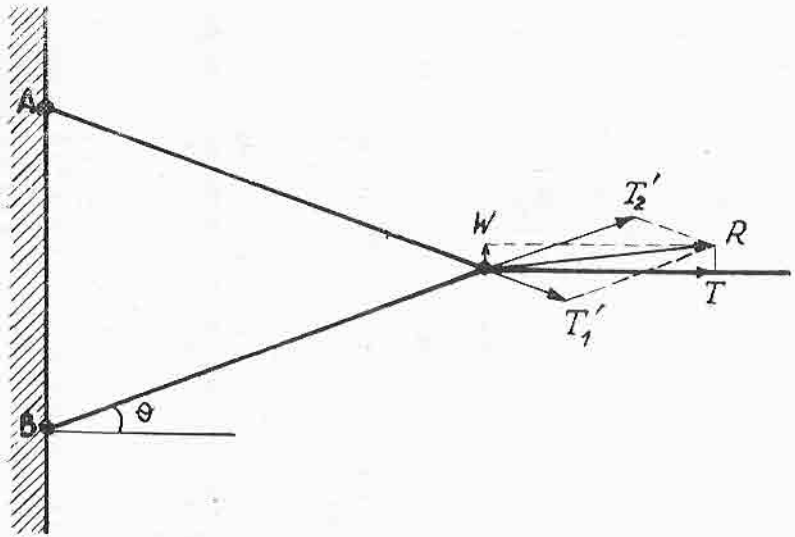


Fig. 6

Cînd nu există forță laterală (vînt sau scurt-circuit), tracțiunea T în conductor este:

$$T = \sqrt{H^2 + V^2 + 2\,V\,H\,\sin\varphi}$$

unde H, V și $\sin\varphi$ au semnificațiile arătate anterior în cadrul instrucțiunilor.

Componentele T_1 și T_2 ale forței T după direcția celor doi izolatori sînt egale:

$$T_1 = T_2 = \frac{T}{2\cos\theta}$$

unde θ are semnificația din fig. 6.

La apariția forței laterale W, rezultanta R are valoarea:

$$R = \sqrt{T^2 + W^2} = \sqrt{H^2 + V^2 + W^2 + 2\,V\,H\,\sin\varphi}$$

Componentele rezultantei R după direcția izolatorilor sînt:

— După direcția AC:

$$T_1' = \frac{T}{2\cos\theta} - \frac{W}{2\sin\theta}$$

— După direcția BC:

$$T_2' = \frac{T}{2\cos\theta} + \frac{T}{2\sin\theta}$$

Întrucît izolatorii nu pot prelua compresiuni, unghiul θ trebuie să fie suficient de mare, pentru ca T_1' să rămînă pozitiv:

$$\operatorname{tg}\theta > \frac{W}{T}$$

Notînd:

$$\overline{AB} = d\,;\ \overline{AC} = \overline{BC} = l$$

rezultă:

$$d > 2\,l\,\frac{W}{T}$$

Dacă legarea lanțurilor de izolatori în punctul *C* se face printr-un jug intermediar, se va vedea cazul următor.

Cazul 2: doi conductori pe fază.

Lanțurile de izolatori *AC* și *BD* (fig. 7) se leagă între ele prin jugul *CD*. Se formează un patrulater deformabil, dar deformarea este cu atît mai mică, cu cît unghiul θ este mai mare.

Întrucît jugul CD este o piesă rigidă, iar tracțiunile în cei doi conductori sînt practic egale, se poate considera că ambele se aplică în punctul median E.

Cînd nu există forță laterală (vînt sau scurt-circuit), tracțiunea totală T se calculează cu relația arătată în cazul pre-

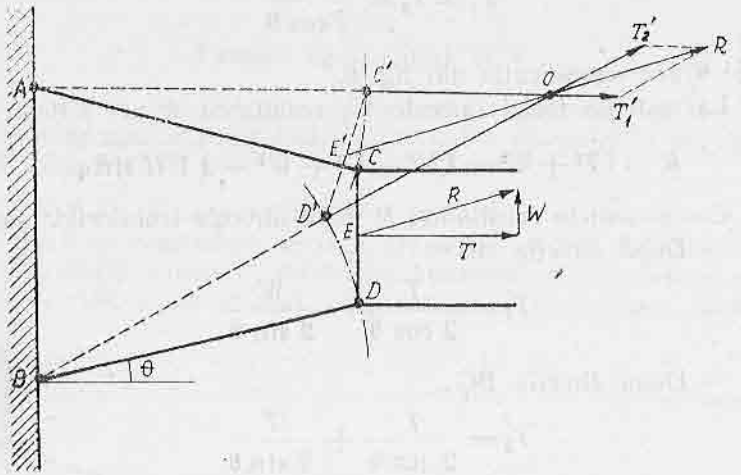


Fig. 7

cedent, unde H și V reprezintă suma componentelor respective pentru cei doi conductori. Este valabilă de asemnea relația arătată pentru T_1 și T_2.

La apariția forței laterale W ia naștere rezultanta R, aplicată tot în punctul median al jugului. Patrulaterul $ACDB$ se deformează și ia o nouă poziție $AC'D'B$, astfel ca rezultanta R aplicată în E' (și păstrîndu-și vechea direcție) să fie concurentă într-un punct oarecare O cu dreptele prelungite AC' și BD'.

Descompunînd pe R după direcțiile izolatorilor, se obțin tracțiunile în izolatori T'_1 și T'_2.

Cea mai simplă rezolvare se obține pe cale grafică. Se alege arbitrar poziția unuia dintre lanțurile de izolatori. Poziția celuilalt rezultă ușor. Dacă se constată că direcțiile izolatorilor și a rezultantei nu sînt concurente, se reface construcția pentru altă poziție a izolatorilor. Sînt necesare cîteva încercări.

Observații :

1. În cazul 1, valoarea minimă a unghiului θ este determinată de forțele T și W. În cazul 2, mărirea unghiului θ reduce deplasarea laterală pentru aceleași forțe T și W.

Odată cu unghiul θ cresc și componentele eforturilor în izolatori.

2. Se va ține seama de faptul că înclinarea lanțurilor de izolatori reduce distanța părților sub tensiune față de cadru. La nevoie, lanțurile vor avea lungimi mai mari decît cele obișnuite.

3. Cînd se execută calculul mecanic conform prezentelor instrucțiuni, lungimea intervalelor corespunzătoare izolatorilor în V este :

$$L = l \cos \theta$$

unde : l este lungimea lanțurilor.

Exemplu de calcul

Datele necesare pentru proiectare (conf. cap. 3)

1. Destinația conductorului: celulă de linie
2. Tensiunea nominală: 110 kV
   Tensiunea maximă de funcționare: 123 kV
3. Curentul nominal: 400 A
4. Curentul maxim de durată: 500 A
5. Timpul de declanșare total al protecției de bază: 0,3 s

Se presupune că protecția de bază nu are zone moarte.

Există *RAR* cu ciclul *D*-0,35 s—*AD*. Prima declanșare se produce la timpul corespunzător protecției de bază, iar a doua declanșare la 0,15 s.

6. Datele de scurt-circuit.

Punctul de defect cel mai defavorabil este pe o linie, în imediata apropiere a stației.

Din punct de vedere termic, se consideră în cazul de față că scurt-circuitul trifazat este cel mai defavorabil.

Valorile plafon, care țin seama și de perspectivele de viitor:

— Scurt-circuit trifazat:

$$P_{3sco} = 6000 \text{ MVA} \qquad I_{3po} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 110} = 31{,}5 \text{ kA}$$

$$P_{3sc\infty} = 5000 \text{ MVA} \qquad I_{3\infty} = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 110} = 26{,}2 \text{ kA}$$

$$\frac{R}{X} = 0{,}1$$

— Scurt-circuit bifazat (pentru calculul mecanic):

$$P_{2sco} = 3000 \text{ MVA} \qquad I_{2po} = \frac{3000}{110} = 27{,}2 \text{ kA}$$

7. Zona geografică: se presupune că stația se găsește la sud-vest de București, la o altitudine de cca 200 m.

8. Condițiile meteorologice: se adoptă condițiile meteorologice limită din anexă. Temperatura maximă a aerului +40°C.

9. Componența lanțurilor de izolatori: se prevăd lanțuri simple cu cîte 8 izolatori de suspensie cu capă tip IC—190, avînd componența indicată în anexa 10.

10. Elementele geometrice ale deschiderii:

— Lungimea totală a deschiderii între axele cadrelor: 30 m

— Lungimea deschiderii între ochiurile cîrligelor de tracțiune: $L = 29{,}5$ m

— Lungimea lanțurilor de izolatori:

Ochi de suspensie simplu OSS 20	74 mm
Izolatori IC—190 8×190 =	1520 mm
Nucă cu ochi răsucit NOr 20	142 mm
Clemă de tracțiune cu con TC IV 300 O1—A1	280 mm
Total	2016 mm

Lungimea lanțului poate fi luată direct din anexa 10: ~ 2 m.

— Lungimile intervalelor:

$L_1 = 2$ m (lanț de izolatori)
$L_2 = 15{,}5$ m
$L_3 = 10$ m
$L_4 = 2$ m (lanț de izolatori)

— Distanța între faze: $a = 2{,}2$ m.

— Există legături la aparate în dreptul punctelor 1 și 2.

CALCULUL ELECTRIC

Curentul maxim de durată (conf. 4.1.2)

1. Temperatura maximă a aerului: $\theta_a = +40$°C
2. Curentul maxim de durată: $I = 500$ A
3. Secțiunea necesară: O1—A1 300/50 mm²

Stabilitatea termică la scurt-circuit (conf. 4.1.3.)

1. Se ia în considerare timpul de declanșare total al protecției de bază și ciclul RAR. Se consideră determinant curentul de scurt-circuit trifazat.

2. Determinarea coeficientului m:

— Valoarea raportului R/X: $R/X = 0{,}1$

Din fig. 2 rezultă:

$$m = 1{,}75$$

— Timpul de declanșare total la prima declanșare: $t_1 = 0{,}3$ s

— Timpul de declanșare total la a doua declanșare (RAR): $t_2 = 0{,}15$ s

Din fig. 1 — a rezultă:

La prima declanșare: $n_1 = 0{,}15$

La a doua declanșare: $n_2 = 0{,}3$

3. Determinarea coeficientului $\varkappa$:

— Raportul I_{po}/I_{∞}:

$$\frac{I_{3po}}{I_{3\infty}} = \frac{31{,}5}{26{,}2} = 1{,}2$$

Din fig. 1 — b rezultă:

La prima declanșare: $n_1 = 0{,}97$

La a doua declanșare: $n_2 = 0{,}98$

4. Determinarea curentului mediu echivalent:

La prima declanșare:

$$I_{m1} = I_{3po}\sqrt{(m_1 + n_1)\,t_1} = 31.500\sqrt{(0{,}15 + 0{,}97) \times 0{,}3} = 18.250 \text{ A}$$

La a doua declanșare:

$$I_{m2} = I_{3po}\sqrt{(m_2 + n_2)\,t_2} = 31.500\sqrt{(0{,}3 + 0{,}98) \times 0{,}15} = 13.800 \text{ A}$$

Curentul mediu echivalent total:

$$I_{mt} = \sqrt{I_{m1}^2 + I_{m2}^2} = \sqrt{18250^2 + 13.800^2} = 22.858 \text{ A}$$

5. Temperatura maximă admisibilă a conductorului la sfîrșitul scurt-circuitului:

Rezultă conf. 4.1.3.6, pentru conductori funie de O1—A1 supuși unei tensiuni $\geqslant 1$ kg/mm²:

$$\theta_{sc} = 160°\text{C}$$

6. Temperatura inițială a conductorului:

Se consideră provizoriu aleasă secțiunea de 300 mm², determinată pe criteriul curentului maxim de durată.

— Temperatura maximă a aerului: $\theta_a = +40°\text{C}$

— Curentul maxim de durată: $I = +500$ A

— Curentul de durată admisibil la temperatura aerului $\theta_a = 40°\text{C}$: $I_a = 575$ A

Rezultă temperatura inițială a conductorului:

$$\theta_c = \theta_a + (70 - \theta_a)\frac{I^2}{I_a^2} = 40 + (70 - 40)\frac{500^2}{575^2} \cong 63°\text{C}$$

7. Densitatea de curent admisibilă la scurt-circuit rezultă din fig. 3 — b:

$$j_t = 77 \text{ A/mm}^2$$

8. Secțiunea necesară:

$$s_t = \frac{I_{mt}}{j_t} = \frac{22.850}{77} = 297 \text{ mm}^2$$

Secțiunea de 300 mm² aleasă inițial este satisfăcătoare.

Efectul corona (conf. 4.1.4)

1. Tensiunea maximă de funcționare: $U_m = 123$ kV
2. Presiunea barometrică la 200 m altitudine: $b = 74{,}2$ cm col. Hg
3. Temperatura maximă a aerului: $\theta_a = +40°\text{C}$
4. Densitatea relativă a aerului:

$$\delta = \frac{3{,}92\,b}{273 + \theta_a} = \frac{3{,}92 \times 74{,}2}{273 + 40} = 0{,}93$$

5. Diametrul conductorului de 300 mm²: $d = 2{,}42$ cm
6. Distanța între axele conductorilor: $a = 220$ cm
7. Tensiunea critică de efect corona:

$$U_{cr} = 33\,\delta\,d\,\log_{10}\frac{2\,a}{d} = 33 \times 0{,}93 \times 2{,}42\,\log_{10}\frac{2 \times 220}{2{,}42} = 168 \text{ kV}$$

$$U_m < U_{cr}$$

Secțiunea O1—A1 300/50 mm² este satisfăcătoare.

Condiții meteorologice (conf. 4.2.2)

1. Conform datelor necesare pentru proiectare, se adoptă condițiile meteorologice limită din anexă. Amplasamentul corespunde zonei meteorologice I_B.

2. Temperatura minimă a aerului : $\theta_{min} = -30°C$

3. Grosimea stratului de chiciură : $d' = 2$ cm

Greutatea specifică a chiciurei : $\gamma_c = 0{,}9$ kg/dm³

4. Viteza maximă a vîntului : $v_{max} = 30$ m/s

Viteza vîntului cînd există chiciură : $v_c = 20$ m/s

Elementele geometrice ale deschiderii (conf. 4.2.3.)

Precizările se găsesc în cadrul datelor necesare pentru proiectare.

Sarcini (conf. 4.2.4.).

1. Sarcinile conductorului

a) Greutatea proprie : $g = 1{,}21$ kg/m

b) Greutatea proprie, inclusiv chiciura

— Diametrul conductorului : $d = 2{,}42$ cm

— Sarcina dată de chiciură :

$$g'_c = \left[\frac{3{,}14\,(d + 2\,d')^2}{4} - \frac{3{,}14\,d^2}{4}\right]\frac{\gamma_c}{10} =$$

$$= \left[\frac{3{,}14\,(2{,}42 + 2 \times 2)^2}{4} - \frac{3{,}14 \times 2{,}42^2}{4}\right]\frac{0{,}9}{10} = 2{,}5 \text{ kg/m}$$

— Greutatea proprie, inclusiv chiciura :

$$g_c = g + g'_c = 1{,}21 + 2{,}5 = 3{,}71 \text{ kg/m}$$

Rezultatul poate fi luat direct din anexa 7.

c) Sarcina dată de vîntul cu viteza maximă cînd nu există chiciură.

— Coeficientul aerodinamic : $k = 1{,}1$

— Sarcina dată de vînt :

$$p = k\frac{d}{100}\cdot\frac{v^2_{max}}{16} = 1{,}1\,\frac{2{,}42}{100}\cdot\frac{30^2}{16} = 1{,}5 \text{ kg/m}$$

Rezultatul poate fi luat direct din anexa 7.

d) Sarcina dată de vîntul cu viteza v_c cînd există chiciură :

— Coeficientul aerodinamic : $k = 1{,}2$

— Sarcina dată de vînt :

$$p_c = k\frac{d + 2\,d'}{100}\cdot\frac{v_c^2}{16} = 1{,}2\,\frac{2{,}42 + 2 \times 2}{100}\cdot\frac{20^2}{16} = 1{,}93 \text{ kg/m}$$

Rezultatul poate fi luat direct din anexa 7.

e) Sarcina dată de vîntul cu viteza v_c cînd există chiciură, inclusiv efortul electrodinamic la scurt-circuit.

— Valoarea eficace inițială a componentei alternative a curentului de scurt-circuit bifazat :

$$I_{2po} = 27{,}2 \text{ kA}$$

— Efortul electrodinamic la scurt-circuit :

$$q = 2{,}04 \times 10^{-2}\,\frac{I^2_{2ro}}{a} = 2{,}04 \times 10^{-2}\,\frac{27{,}2^2}{2{,}2} = 6{,}86 \text{ kg/m}$$

— Efortul total :

$$p_{sc} = p_c + q = 1{,}93 + 6{,}86 = 8{,}79 \text{ kg/m}$$

2. Sarcinile izolatorilor

a) Greutatea proprie

— Greutatea totală a lanțului

Ochi de suspensie simplu OSS 20	0,5 kg
Izolatori IC—190 8×9,3=	74,4 kg
Nucă cu ochi răsucit NOr 20	2,5 kg
Clemă TC IV 300 O1—A1	~ 9,0 kg
	86,4 kg

— Sarcina uniform distribuită :

$$g = \frac{86{,}4 \text{ kg}}{2 \text{ m}} = 43{,}2 \text{ kg/m}$$

b) Greutatea proprie, inclusiv chiciura

— Diametrul umbrelei izolatorului : $D = 28$ cm

— Sarcina dată de chiciură :

$$g'_c = 1{,}5\left[\frac{3{,}14\,(D + 2\,d')^2}{4} - \frac{3{,}14\,D^2}{4}\right]\cdot\frac{\gamma_c}{10} =$$

$$= 1{,}5\left[\frac{3{,}14\,(28 + 2 \times 2)^2}{4} - \frac{3{,}14 \times 28^2}{4}\right]\cdot\frac{0{,}9}{10} = 25{,}4 \text{ kg/m}$$

— Greutatea proprie, inclusiv chiciura:

$$g_c = g + g'_c = 43{,}2 + 25{,}4 = 68{,}6 \text{ kg/m}$$

c) Sarcina dată de vîntul cu viteză maximă cînd nu există chiciură:

— Coeficientul aerodinamic: $k = 0{,}7$

— Sarcina dată de vînt:

$$p = k \frac{D}{100} \cdot \frac{v^2_{max}}{16} = 0{,}7 \frac{28}{100} \cdot \frac{30^2}{16} = 11 \text{ kg/m}$$

d) Sarcina dată de vîntul cu viteza v_c cînd există chiciură:

— Coeficientul aerodinamic: $k = 0{,}7$

— Sarcina dată de vînt:

$$p_c = k \frac{D + 2d'}{100} \cdot \frac{v^2_c}{16} = 0{,}7 \frac{28 + 2 \times 2}{100} \cdot \frac{20^2}{16} = 5{,}6 \text{ kg/m}$$

e) Sarcina dată de vîntul cu viteza v_c cînd există chiciură, inclusiv efortul electrodinamic la scurt-circuit: nu este cazul.

$$p_{sc} = p_c$$

Sarcinile lanțurilor de izolatori curente pot fi luate direct din anexa 10.

3. Sarcini concentrate.

a) Sarcina 1.	F	F_c	P	P_c
Conductor O1—Al N 300 mm²—5 m	6	18	7,5	9,7 kg

b) Sarcina 2.	F	F_c	P	P_c
Clemă de derivație aeriană CDA 3—Al (anexa 11)	~6	~6,1	~1,2	~0,9 kg
Conductor O1—Al N 300 mm²—5 m	6	18	7,5	9,7 kg
Total	12	24,1	8,7	10,6 kg

c) Sarcina 3 este nulă.

Coeficienți de influență (conf. 4.2.5.1.)

$$b_1 = \frac{1}{L}\left(\frac{L_1}{2} + L_2 + L_3 + L_4\right) = \frac{1}{29{,}5}\left(\frac{2}{2} + 15{,}5 + 10 + 2\right) = 0{,}97$$

$$b_2 = \frac{1}{L}\left(\frac{L_2}{2} + L_3 + L_4\right) = \frac{1}{29{,}5}\left(\frac{15{,}5}{2} + 10 + 2\right) = 0{,}67$$

$$b_3 = \frac{1}{L}\left(\frac{L_3}{2} + L_4\right) = \frac{1}{29{,}5}\left(\frac{10}{2} + 2\right) = 0{,}24$$

$$b_4 = \frac{1}{L} \cdot \frac{L_4}{2} = \frac{1}{29{,}5} \cdot \frac{2}{2} = 0{,}034$$

$$c_1 = \frac{1}{L}(L_2 + L_3 + L_4) = \frac{1}{29{,}5}(15{,}5 + 10 + 2) = 0{,}93$$

$$c_2 = \frac{1}{L}(L_3 + L_4) = \frac{1}{29{,}5}(10 + 2) = 0{,}41$$

c_3 nu interesează, sarcina concentrată 3 fiind nulă.

Sarcinile intervalelor (conf. 4.2.5.2)

1. În plan vertical.

a) Stările I, II și IV:

$G_1 = 86{,}4$ kg (greutatea lanțului de izolatori)

$G_2 = g_2 L_2 = 1{,}21 \times 15{,}5 = 18{,}8$ kg

$G_3 = g_3 L_3 = 1{,}21 \times 10 = 12{,}1$ kg

$G_4 = 86{,}4$ kg (greutatea lanțului de izolatori)

b) Stările III și V:

$G_{c1} = g_{c1} L_1 = 68{,}6 \times 2 = 137{,}2$ kg

$G_{c2} = g_{c2} L_2 = 3{,}61 \times 15{,}5 = 56$ kg

$G_{c3} = g_{c3} L_3 = 3{,}61 \times 10 = 36{,}1$ kg

$G_{c4} = g_{c4} L_4 = 68{,}6 \times 2 = 137{,}2$ kg

2. În plan orizontal.

a) Starea II:

$G'_1 = p_1 L_1 = 11 \times 2 = 22$ kg

$G'_2 = p_2 L_2 = 1{,}5 \times 15{,}5 = 23{,}2$ kg

$G'_3 = p_3 L_3 = 1{,}5 \times 10 = 15$ kg

$G'_4 = p_4 L_4 = 11 \times 2 = 22$ kg

b) Starea III:

$G'_{c1} = p_{c1} L_1 = 5{,}6 \times 2 = 11{,}2$ kg

$G'_{c2} = p_{c2} L_2 = 1{,}93 \times 15{,}5 = 29{,}9$ kg

$G'_{c3} = p_{c3} L_3 = 1{,}93 \times 10 = 19{,}3$ kg

$G'_{c4} = p_{c4} L_4 = 5{,}6 \times 2 = 11{,}2$ kg

c) Starea V.

$G'_{sc1} = G'_{c1} = 11{,}2$ kg

$G'_{sc2} = p_{sc2} L_2 = 8{,}79 \times 15{,}5 = 136$ kg

$G'_{sc3} = p_{sc3} L_3 = 8{,}79 \times 10 = 87{,}9$ kg

$G'_{sc4} = G'_{c4} = 11{,}2$ kg

Componentele verticale și orizontale ale reacțiunilor la capete (conf. 4.2.5.3.)

1. Componenta verticală

a) Stările I, II și IV:

$$V_A = -(b_1 G_1 + b_2 G_2 + b_3 G_3 + b_4 G_4) - (c_1 F_1 + c_2 F_2) =$$
$$= -(0{,}97 \times 86{,}4 + 0{,}67 \times 18{,}8 + 0{,}24 \times 12{,}1 + 0{,}034 \times 86{,}4) - (0{,}93 \times 6 + 0{,}41 \times 12) = -112{,}7 \text{ kg}$$

$$V_B = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + F_1 + F_2 + V_A =$$
$$= 86{,}4 + 18{,}8 + 12{,}1 + 86{,}4 + 6 + 12 - 112{,}7 = 109 \text{ kg}$$

b) Stările III și V:

$$V_A = -(b_1 G_{c1} + b_2 G_{c2} + b_3 G_{c3} + b_4 G_{c4}) - (c_1 F_{c1} + c_2 F_{c2}) =$$
$$= -(0{,}97 \times 137{,}2 + 0{,}67 \times 56 + 0{,}24 \times 36{,}1 + 0{,}034 \times 137{,}2) - (0{,}93 \times 18 + 0{,}41 \times 24{,}1) = -210{,}5 \text{ kg}$$

$$V_B = G_{c1} + G_{c2} + G_{c3} + G_{c4} + F_{c1} + F_{c2} + V_A =$$
$$= 137{,}2 + 56 + 36{,}1 + 137{,}2 + 18 + 24{,}1 - 210{,}5 = 198{,}1 \text{ kg}$$

c) Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți). Se presupune că numai sarcina 2 este demontabilă:

$$V_A = -(b_1 G_1 + b_2 G_2 + b_3 G_3 + b_4 G_4) - c_1 F_1 =$$
$$= -(0{,}97 \times 86{,}4 + 0{,}67 \times 18{,}8 + 0{,}24 \times 12{,}1 + 0{,}034 \times 86{,}4) - 0{,}93 \times 6 = -107{,}8 \text{ kg}$$

$$V_B = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + F_1 + V_A =$$
$$= 86{,}4 + 18{,}8 + 12{,}1 + 86{,}4 + 6 - 107{,}8 = 101{,}9 \text{ kg}$$

2. Componenta orizontală.

a) Stările I și IV: $W_A = W_B = 0$

b) Starea II:

$$W_A = -(b_1 G'_1 + b_2 G'_2 + b_3 G'_3 + b_4 G'_4) - (c_1 P_1 + c_2 P_2) =$$
$$= -(0{,}97 \times 22 + 0{,}67 \times 23{,}2 + 0{,}24 \times 15 + 0{,}034 \times 22) - (0{,}93 \times 7{,}5 + 0{,}41 \times 8{,}7) = -51{,}7 \text{ kg}$$

$$W_B = G'_1 + G'_2 + G'_3 + G'_4 + P_1 + P_2 + W_A =$$
$$= 22 + 23{,}2 + 15 + 22 + 7{,}5 + 8{,}7 - 51{,}7 = 46{,}7 \text{ kg}$$

c) Starea III:

$$W_A = -(b_1 G'_{c1} + b_2 G'_{c2} + b_3 G'_{c3} + b_4 G'_{c4}) - (c_1 P_{c1} + c_2 P_{c2}) =$$
$$= -(0{,}97 \times 11{,}2 + 0{,}67 \times 29{,}9 + 0{,}24 \times 19{,}3 + 0{,}034 \times 11{,}2) - (0{,}93 \times 9{,}7 + 0{,}41 \times 10{,}6) = -49{,}1 \text{ kg}$$

$$W_B = G'_{c1} + G'_{c2} + G'_{c3} + G'_{c4} + P_{c1} + P_{c2} + W_A =$$
$$= 11{,}2 + 29{,}9 + 19{,}3 + 11{,}2 + 9{,}7 + 10{,}6 - 49{,}1 = 42{,}8 \text{ kg}$$

d) Starea V:

$$W_A = -(b_1 G'_{sc1} + b_2 G'_{sc2} + b_3 G'_{sc3} + b_4 G'_{sc4}) - (c_1 P_{c1} + c_2 P_{c2}) =$$
$$= -(0{,}97 \times 11{,}2 + 0{,}67 \times 136 + 0{,}24 \times 87{,}9 + 0{,}034 \times 11{,}2) - (0{,}93 \times 9{,}7 + 0{,}41 \times 10{,}6) = -136{,}6 \text{ kg}$$

$$W_B = G'_{sc1} + G'_{sc2} + G'_{sc3} + G'_{sc4} + P_{c1} + P_{c2} + W_A =$$
$$= 11{,}2 + 136 + 87{,}9 + 11{,}2 + 9{,}7 + 10{,}6 - 136{,}6 = 130 \text{ kg}$$

Componentele verticale și orizontale ale forțelor tăietoare la extremitățile intervalelor (conf. 4.2.5.4.)

1. Componentele verticale

a) Stările I, II și IV:

$V_{1s} = V_A = -112{,}7$ kg
$V_{2s} = V_{1d} + F_1 = -26{,}3 + 6 = -20{,}3$ kg
$V_{3s} = V_{2d} + F_2 = -1{,}5 + 12 = 10{,}5$ kg
$V_{4s} = V_{3d} + F_3 = 22{,}6 + 0 = 22{,}6$ kg

$V_{1d} = V_{1s} + G_1 = -112{,}7 + 86{,}4 = -26{,}3$ kg
$V_{2d} = V_{2s} + G_2 = -20{,}3 + 18{,}8 = -1{,}5$ kg
$V_{3d} = V_{3s} + G_3 = 10{,}5 + 12{,}1 = 22{,}6$ kg
$V_{4d} = V_{4s} + G_4 = 22{,}6 + 86{,}4 = 109$ kg

Se verifică $V_{4d} = V_B = 109$ kg

b) Stările III și V:

$V_{1s} = V_A = -210{,}5$ kg
$V_{2s} = V_{1d} + F_{c1} = -73{,}3 + 18 = -55{,}3$ kg
$V_{3s} = V_{2d} + F_{c2} = 0{,}7 + 24{,}1 = 24{,}8$ kg
$V_{4s} = V_{3d} + F_{c3} = 60{,}9 + 0 = 69{,}9$ kg

$V_{1d} = V_{1s} + G_{c1} = -210{,}5 + 137{,}2 = -73{,}3$ kg
$V_{2d} = V_{2s} + G_{c2} = -55{,}3 + 56 = 0{,}7$ kg
$V_{3d} = V_{3s} + G_{c3} = 24{,}8 + 36{,}1 = 60{,}9$ kg
$V_{4d} = V_{4s} + G_{c4} = 60{,}9 + 137{,}2 = 198{,}1$ kg

Se verifică $V_{4d} = V_B = 198{,}1$ kg

c) Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți):

$V_{1s} = V_A = -107{,}8$ kg
$V_{2s} = V_{1d} + F_1 = -21{,}4 + 6 = -15{,}4$ kg
$V_{3s} = V_{2d} = 3{,}4$ kg
$V_{4s} = V_{3d} = 15{,}5$ kg

$V_{1d} = V_{1s} + G_1 = -107{,}8 + 86{,}4 = -21{,}4$ kg
$V_{2d} = V_{2s} + G_2 = -15{,}4 + 18{,}8 = 3{,}4$ kg
$V_{3d} = V_{3s} + G_3 = 3{,}4 + 12{,}1 = 15{,}5$ kg
$V_{4d} = V_{4s} + G_4 = 15{,}5 + 86{,}4 = 101{,}9$ kg

Se verifică $V_{4d} = V_B = 101{,}9$ kg

2. Componentele orizontale

a) Starea II:

$W_{1s} = W_A = -51{,}7$ kg
$W_{2s} = W_{1d} + P_1 = -29{,}7 + 7{,}5 = -22{,}2$ kg
$W_{3s} = W_{2d} + P_2 = 1 + 8{,}7 = 9{,}7$ kg
$W_{4s} = W_{3d} + P_3 = 24{,}7 + 0 = 24{,}7$ kg

$W_{1d} = W_{1s} + G'_1 = -51{,}7 + 22 = -29{,}7$ kg
$W_{2d} = W_{2s} + G'_2 = -22{,}2 + 23{,}2 = 1$ kg
$W_{3d} = W_{3s} + G'_3 = 9{,}7 + 15 = 24{,}7$ kg
$W_{4d} = W_{4s} + G'_4 = 24{,}7 + 22 = 46{,}7$ kg

Se verifică $W_{4d} = W_B = 46{,}7$ kg

b) Starea III:

$W_{1s} = W_A = -49{,}1$ kg
$W_{2s} = W_{1d} + P_{c1} = -37{,}9 + 9{,}7 = -28{,}2$ kg
$W_{3s} = W_{2d} + P_{c2} = 1{,}7 + 10{,}6 = 12{,}3$ kg
$W_{4s} = W_{3d} + P_{c3} = 31{,}6 + 0 = 31{,}6$ kg

$W_{1d} = W_{1s} + G'_{c1} = -49{,}1 + 11{,}2 = -37{,}9$ kg
$W_{2d} = W_{2s} + G'_{c2} = -28{,}2 + 29{,}9 = 1{,}7$ kg
$W_{3d} = W_{3s} + G'_{c3} = 12{,}3 + 19{,}3 = 31{,}6$ kg
$W_{4d} = W_{4s} + G'_{c4} = 31{,}6 + 11{,}2 = 42{,}8$ kg

Se verifică $W_{4d} = W_B = 42{,}8$ kg

c) Starea V:

$W_{1s} = W_A = -136{,}6$ kg
$W_{2s} = W_{1d} + P_{c1} = -125{,}4 + 9{,}7 = -115{,}7$ kg
$W_{3s} = W_{2d} + P_{c2} = 20{,}3 + 10{,}6 = 30{,}9$ kg
$W_{4s} = W_{3d} + P_{c3} = 118{,}8 + 0 = 118{,}8$ kg

$W_{1d} = W_{1s} + G'_{sc1} = -136{,}6 + 11{,}2 = -125{,}4$ kg
$W_{2d} = W_{2s} + G'_{sc2} = -115{,}7 + 136 = 20{,}3$ kg
$W_{3d} = W_{3s} + G'_{sc3} = 30{,}9 + 87{,}9 = 118{,}8$ kg
$W_{4d} = W_{4s} + G'_{sc4} = 118{,}8 + 11{,}2 = 130$ kg

Se verifică $W_{4d} = W_B = 130$ kg

Poziția punctului cu elongație maximă (conf. 4. 2. 6. 1.)

1. Stările I, II și IV:

Componenta verticală a forței tăietoare schimbă semnul în dreptul forței concentrate 2, deci $j=3$, $x_0=0$.

2. Stările III și V:

Componenta verticală a forței tăietoare schimbă semnul în intervalul 2 ($V_{2s} = -55{,}3$ kg < 0 ; $V_{2d} = 0{,}7$ kg > 0). Punctul de elongație maximă se găsește la distanța x_0 de capătul din stînga al intervalului:

$$x_0 = -\frac{V_{2s}}{g_{c2}} = -\frac{-55{,}3}{3{,}61} = 15{,}3 \text{ m}$$

3. Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți):

Componenta verticală a forței tăietoare schimbă semnul în intervalul 2 ($V_{2s} = -15{,}4$ kg < 0 ; $V_{2d} = 3{,}4$ kg > 0). Punctul de elongație maximă se găsește la distanța x_0 de capătul din stînga al intervalului:

$$x_0 = -\frac{V_{2s}}{g_2} = -\frac{-15{,}4}{1{,}21} = 12{,}7 \text{ m}$$

Momentele forțelor verticale situate la stînga punctului de elongație maximă (conf. 4. 2. 6. 2.)

1. Stările I, II și IV:

$$M_m = -V_A (L_1 + L_2) - G_1 \left(\frac{L_1}{2} + L_2\right) - G_2 \frac{L_2}{2} - F_1 L_2 =$$

$$= 112{,}7 (2 + 15{,}5) - 86{,}4 \left(\frac{2}{2} + 15{,}5\right) - 18{,}8 \frac{15{,}5}{2} -$$

$$- 6 \times 15{,}5 = 307 \text{ kgm}$$

2. Stările III și V:

$$M_m = -V_A (L_1 + x_0) - G_{c1} \left(\frac{L_1}{2} + x_0\right) - F_{c1} x_0 - \frac{1}{2} g_{c2} x_0^2 =$$

$$= 210{,}5 (2 + 15{,}3) - 137{,}2 \left(\frac{2}{2} + 15{,}3\right) - 18 \times 15{,}3 -$$

$$- \frac{1}{2} \times 3{,}61 \times 15{,}3^2 = 704 \text{ kgm}$$

3. Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți):

$$M_m = -V_A (L_1 + x_0) - G_1 \left(\frac{L_1}{2} + x_0\right) - F_1 x_0 - \frac{1}{2} g_2 x_0^2 =$$

$$= 107{,}8 (2 + 12{,}7) - 86{,}4 \left(\frac{2}{2} + 12{,}7\right) - 6 \times 12{,}7 -$$

$$- \frac{1}{2} \times 1{,}21 \times 12{,}7^2 = 210 \text{ kgm}$$

Calculul mărimilor Φ (conf. 4. 2. 7. 1)

1. Mărimea Φ_1:

a) Stările I, II și IV:

$$\Phi_1 = \frac{V_{1d}^3 - V_{1s}^3}{g_1} + \frac{V_{2d}^3 - V_{2s}^3}{g_2} + \frac{V_{3d}^3 - V_{3s}^3}{g_3} + \frac{V_{4d}^3 - V_{4s}^3}{g_4} =$$

$$= \frac{-26{,}3^3 + 112{,}7^3}{43{,}2} + \frac{-1{,}5^3 + 20{,}3^3}{1{,}21} + \frac{22{,}6^3 - 10{,}5^3}{1{,}21} +$$

$$+ \frac{109^3 - 22{,}6^3}{43{,}2} = 78.030 \text{ kg}^2\text{m}$$

b) Stările III și V:

$$\Phi_1 = \frac{-73{,}3^3 + 210{,}5^3}{68{,}6} + \frac{0{,}7^3 + 55{,}3^3}{3{,}61} + \frac{60{,}9^3 - 24{,}8^3}{3{,}61} +$$

$$+ \frac{198{,}1^3 - 60{,}9^3}{68{,}6} = 346.200 \text{ kg}^2\text{m}$$

c) Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți):

$$\Phi_1 = \frac{-21{,}4^3 + 107{,}8^3}{43{,}2} + \frac{3{,}4^3 + 15{,}4^3}{1{,}21} + \frac{15{,}5^3 - 3{,}4^3}{1{,}21} +$$

$$+ \frac{101{,}9^3 - 15{,}5^3}{43{,}2} = 59.100 \text{ kg}^2\text{m}$$

Se observă că în acest caz se pot face unele reduceri de termeni.

2. Mărimea Φ_2

a) Stările I, IV și pentru montare: $\Phi_2=0$.

b) Starea II:

$$\Phi_2=\frac{W_{1d}^3-W_{1s}^3}{p_1}+\frac{W_{2d}^3-W_{2s}^3}{p_2}+\frac{W_{3d}^3-W_{3s}^3}{p_3}+\frac{W_{4d}^3-W_{4s}^3}{p_4}=$$

$$=\frac{-29{,}7^3+51{,}7^3}{11}+\frac{1^3+22{,}2^3}{1{,}5}+\frac{24{,}7^3-9{,}7^3}{1{,}5}+$$

$$+\frac{46{,}7^3-24{,}7^3}{11}=34.850 \text{ kg}^2\text{m}$$

c) Starea III:

$$\Phi_2=\frac{-37{,}9^3+49{,}1^3}{5{,}6}+\frac{1{,}7^3+28{,}2^3}{1{,}93}+\frac{31{,}6^3-12{,}3^3}{1{,}93}+$$

$$+\frac{42{,}8^3-31{,}6^3}{5{,}6}=46.800 \text{ kg}^2\text{m}$$

d) Starea V:

$$\Phi_2=\frac{-125{,}4^3+136{,}6^3}{5{,}6}+\frac{20{,}3^3+115{,}7^3}{8{,}79}+\frac{118{,}8^3-30{,}9^3}{8{,}79}+$$

$$+\frac{130^3-118{,}8^3}{5{,}6}=561.000 \text{ kg}^2\text{m}$$

Coeficienții ecuației de stare (conf. 4.2.7.2.)

1. Coeficientul K:

— Modulul de elasticitate echivalent (conf. anexei):

$$E=7660 \text{ kg/mm}^2$$

— Coeficientul de dilatare termică echivalent (conf. anexei):

$$\alpha=18{,}5\times10^{-6} \text{ °C}^{-1}$$

— Secțiunea totală a conductorului (conf. anexei):

$$s=334{,}4 \text{ mm}^2$$

— Coeficientul K:

$$K=\frac{1}{E\,\alpha\,s}=\frac{1}{7660\times18{,}5\times10^{-6}\times344{,}4}=0{,}0205 \text{ °C/kg}$$

2. Coeficientul A:

a) Stările I și IV:

— Lungimea lanțurilor de izolatori:

$$L_{iz}=L_1+L_4=2+2=4 \text{ m}$$

— Coeficientul A:

$$A=\frac{\Phi_1+\Phi_2}{6\,(L-L_{iz})\,\alpha}=\frac{78.030+0}{6\,(29{,}5-4)\times18{,}5\times10^{-6}}=$$

$$=2755\times10^4 \text{ °C kg}^2$$

b) Starea II:

$$A=\frac{78.030+34.850}{6\,(29{,}5-4)\times18{,}5\times10^{-6}}=3980\times10^4 \text{ °C kg}^2$$

c) Starea III:

$$A=\frac{346.200+46.800}{6\,(29{,}5-4)\times18{,}5\times10^{-6}}=13.900\times10^4 \text{ °C kg}^2$$

d) Starea V:

$$A=\frac{346.200+561.000}{6\,(29{,}5-4)\times18{,}5\times10^{-6}}=32.000\times10^4 \text{ °C kg}^2$$

e) Pentru montare (tabele de eforturi și săgeți):

$$A=\frac{59.100+0}{6\,(29{,}5-4)\times18{,}5\times10^{-6}}=2080\times10^4 \text{ °C kg}^2$$

Determinarea eforturilor în conductor și a săgeților la diverse stări (conf. 4.2.8.)

1. Se admite săgeata maximă 3% din deschidere:

$$f_m=0{,}03\,L=0{,}03\times29{,}5=0{,}9 \text{ m}$$

2. Eforturile la diverse stări, corespunzătoare săgeții f_m (conf. 4.2.8.2.):

$$H_m=\frac{M_m}{f_m}$$

— Stările I, II și IV:

$$H_m=\frac{307}{0{,}9}=341 \text{ kg}$$

— Stările III și V:

$$H_m = \frac{704}{0,9} = 783 \text{ kg}$$

3. Valoarea constantei C pentru fiecare stare (conf. 4,2,8,2,):

$$C = \frac{A}{H_m^2} - KH_m - \theta$$

— Starea I: $C = \frac{2755 \times 10^4}{341^2} - 0,020 \times 341 + 30 = 259°C$

— Starea II: $C = \frac{3980 \times 10^4}{341^2} - 0,0205 \times 341 + 5 = 340°C$

— Starea III: $C = \frac{13900 \times 10^4}{783^2} - 0,0205 \times 783 + 5 = 216°C$

— Starea IV: $C = \frac{2755 \times 10^4}{341^2} - 0,0205 \times 341 - 70 = 159°C$

— Starea V: $C = \frac{32000 \times 10^4}{783^2} - 0,0205 \times 783 + 5 = 511°C$

Starea IV, căreia îi corespunde cea mai mică valoare pentru C, este starea inițială. (Dacă se impune o valoare maximă a efortului, se alege valoarea cea mai mare). Valoarea definitivă pentru toate stările este:

$$C = \min (C_I \ldots C_V) = 159°C$$

4. Valoarea H la diverse stări rezultă din ecuația de stare:

$$H^3 + \frac{\theta + C}{10^3 K} H^2 = \frac{A}{10^9 K}$$

— Starea I:

$$H^3 + \frac{-30 + 159}{10^3 \times 0,0205} H^2 = \frac{2755 \times 10^4}{10^9 \times 0,0205}$$

$H^3 + 6,8\ H^2 = 1,34$

$H = 0,430$ tone

$$f = \frac{M_m}{H} = \frac{307}{430} = 0,71 \text{ m}$$

— Starea II:

$$H^3 + \frac{-5 + 159}{10^3 \times 0,0205} H^2 = \frac{3980 \times 10^4}{10^9 \times 0,0205}$$

$H^3 + 7,5\ H^2 = 1,94$

$H = 0,494$ kg

$$f = \frac{M_m}{H} = \frac{307}{494} = 0,62 \text{ m}$$

— Starea III:

$$H^3 + \frac{-5 + 159}{10^3 \times 0,0205} H^2 = \frac{13.900 \times 10^4}{10^9 \times 0,0205}$$

$H^3 + 7,5\ H^2 = 6,78$

$H = 0,9$ tone

$$f = \frac{M_m}{H} = \frac{704}{900} = 0,78 \text{ m}$$

— Starea IV (starea inițială):

$$H^3 + \frac{70 + 159}{10^3 \times 0,0205} H^2 = \frac{2755 \times 10^4}{10^9 \times 0,0205}$$

$H^3 + 11,2\ H^2 = 1,34$

$H = 0,341$ tone

$$f = \frac{M_m}{H} = \frac{307}{341} = 0,9 \text{ m}$$

— Starea V:

$$H^3 + \frac{-5 + 159}{10^3 \times 0,0205} H^2 = \frac{32000 \times 10^4}{10^9 \times 0,0205}$$

$H^3 + 7,5\ H^2 = 15,6$

$H = 1,33$ tone

$$f = \frac{M_m}{H} = \frac{704}{1330} = 0,53 \text{ m}$$

5. Se verifică îndeplinirea la toate stările a condiției:

$$f \leqslant f_m$$

6. Eforturile maxime în conductor și izolatori (conf. 4.2.8.6.):

— Starea I :

$$T_A = \sqrt{H^2 + V_A^2 + W_A^2} = \sqrt{430^2 + 112{,}7^2 + 0} = 444 \text{ kg}$$

$$T_B = \sqrt{H^2 + V_B^2 + W_B^2} = \sqrt{430^2 + 109^2 + 0} = 444 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{T_A}{s} = \frac{444}{344{,}4} = 1{,}29 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_a = 3{,}9 \text{ kg/mm}^2 \text{ la } -30^\circ\text{C}$$

— Starea II :

$$T_A = \sqrt{494^2 + 112{,}7^2 + 51{,}7^2} = 510 \text{ kg}$$

$$T_B = \sqrt{494^2 + 109^2 + 46{,}7^2} = 510 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{510}{344{,}4} = 1{,}48 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_a = 4{,}8 \text{ kg/mm}^2 \text{ la } -5^\circ\text{C}$$

— Starea III :

$$T_A = \sqrt{900^2 + 210{,}5^2 + 49{,}1^2} = 925 \text{ kg}$$

$$T_B = \sqrt{900^2 + 198{,}1^2 + 42{,}8^2} = 925 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{925}{344{,}4} = 2{,}69 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_a = 4{,}8 \text{ kg/mm}^2 \text{ la } -5^\circ\text{C}$$

— Starea IV :

$$T_A = \sqrt{341^2 + 112{,}7^2 + 0} = 359 \text{ kg}$$

$$T_B = \sqrt{341^2 + 109^2 + 0} = 359 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{359}{344{,}4} = 1{,}04 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_a = 7{,}4 \text{ kg/mm}^2 \text{ la } +70^\circ\text{C}$$

— Starea V :

$$T_A = \sqrt{1330^2 + 210{,}5^2 + 136{,}6^2} = 1350 \text{ kg}$$

$$T_B = \sqrt{1330^2 + 198{,}1^2 + 130^2} = 1350 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{1350}{344{,}4} = 3{,}92 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_a = 10{,}3 \text{ kg/mm}^2 \text{ la } -5^\circ\text{C},$$

cu coeficient de siguranță 2.

În privința pieselor componente ale lanțurilor de izolatori, se constată din tabelele anexate că cel mai mic efort admisibil corespunde izolatorilor IC — 190 : 1125 kg. ($\sigma_a = 3{,}27$ kg/mm² raportat la secțiunea totală a conductorului). În cazul unui scurt-circuit (starea V), se admite dublarea efortului : 2250 kg ($\sigma_a = 6{,}54$ kg/mm² raportat la secțiunea totală a conductorului). Rezultatele de mai sus arată că aceste valori nu sînt depășite.

Eforturile transmise construcțiilor de susținere (conf. 4.2.9.1.).

Tracțiuni pe direcția AB : $H' = H \cos \varphi = H$

Componente verticale : $V'_A = -V_A - H \sin \varphi = -V_A$

$V'_B = V_B + H \sin \varphi = V_B$

Componente orizontale perpendiculare pe direcția AB :

$$W'_A = -W_A$$

$$W'_B = W_B$$

Rezultă următoarele valori în kg :

	H'	V'_A	V'_B	W'_A	W'_B
Starea I	430	112,7	109	0	0
Starea II	494	112,7	109	51,7	46,7
Starea III	900	210,5	198,1	49,1	42,8
Starea IV	341	112,7	109	0	0
Starea V	1330	210,5	198,1	136,6	130

Elemente pentru montare (conf. 4.2.10)

Ecuația de stare :

$$H^3 + \frac{\theta + 159}{10^3 \times 0{,}0205} H^2 = \frac{2080 \times 10^4}{10^9 \times 0{,}0205}$$

$$H^3 + \frac{\theta + 159}{20{,}5} H^2 = 1{,}01$$

— Temp. — 20°C :

$H^3+6{,}8\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}376$ tone

$T_A=\sqrt{376^2+107{,}8^2}=391$ kg

$T_B=\sqrt{376^2+101{,}9^2}=389$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{376}=0{,}56$ m

— Temp. —10°C :

$H^3+7{,}3\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}363$ tone

$T_A=\sqrt{363^2+107{,}8^2}=379$ kg

$T_B=\sqrt{363^2+101{,}9^2}=378$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{363}=0{,}58$ m

—Temp. 0°C :

$H^3+7{,}8\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}352$ tone

$T_A=\sqrt{352^2+107{,}8^2}=368$ kg

$T_B=\sqrt{352^2+101{,}9^2}=367$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{352}=0{,}60$ m

— Temp. +10°C :

$H^3+8{,}2\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}344$ tone

$T_A=\sqrt{344^2+107{,}8^2}=359$ kg

$T_B=\sqrt{344^2+101{,}9^2}=358$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{344}=0{,}61$ m

— Temp. +20°C :

$H^3+8{,}7\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}335$ tone

$T_A=\sqrt{335^2+107{,}8^2}=352$ kg

$T_B=\sqrt{335^2+101{,}9^2}=350$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{335}=0{,}63$ m

— Temp. +30°C :

$H^3+9{,}2\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}326$ tone

$T_A=\sqrt{326^2+107{,}8^2}=343$ kg

$T_B=\sqrt{326^2+101{,}9^2}=341$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{326}=0{,}65$ m

— Temp. +40°C :

$H^3+9{,}7\ H^2=1{,}01$

$H=0{,}318$ tone

$T_A=\sqrt{318^2+107{,}8^2}=336$ kg

$T_B=\sqrt{318^2+101{,}9^2}=334$ kg

$f=\frac{M_m}{H}=\frac{210}{318}=0{,}66$ m

Eroarea de calcul sistematică (conf. 4.2.12.)

1. Verificarea valabilității relațiilor folosite în calcul.

— Starea I

$\max(-V_A\ ;\ V_B)=\max(112{,}7\ ;\ 109)=112{,}7$ kg

$y'_m=\frac{\max(-V_A\ ;\ V_B)}{H}=\frac{112{,}7}{430}=0{,}26$

$z'_m=0$

$y'_m+2y'_m\,|\sin\varphi\,|+z'^2_m=0{,}26^2+0+0=0{,}0676<1$

— Starea II

$\max(-V_A\ ;\ V_B) = \max(112{,}7\ ;\ 109) = 112{,}7$ kg

$\max(-W_A\ ;\ W_B) = \max(51{,}7\ ;\ 46{,}7) = 51{,}7$ kg

$$y'_m = \frac{\max(-V_A\ ;\ V_B)}{H} = \frac{112{,}7}{494} = 0{,}23$$

$$z'_m = \frac{\max(-W_A\ ;\ W_B)}{H} = \frac{51{,}7}{494} = 0{,}15$$

$$y'^2_m + 2y'_m\,|\sin\varphi| + z'^2_m = 0{,}23^2 + 0 + 0{,}15^2 = 0{,}0755 < 1$$

— Starea III

$\max(-V_A\ ;\ V_B) = \max(210{,}5\ ;\ 198{,}1) = 210{,}5$ kg

$\max(-W_A\ ;\ W_B) = \max(49{,}1\ ;\ 42{,}8) = 42{,}8$ kg

$$y'_m = \frac{\max(-V_A\ ;\ V_B)}{H} = \frac{210{,}5}{900} = 0{,}23$$

$$z'_m = \frac{\max(-W_A\ ;\ W_B)}{H} = \frac{42{,}3}{900} = 0{,}0476$$

$$y'^2_m + 2y'_m\,|\sin\varphi| + z'^2_m = 0{,}23^2 + 0 + 0{,}0476 = 0{,}0553 < 1$$

— Starea IV

$\max(-V_A\ ;\ V_B) = \max(112{,}7\ ;\ 109) = 112{,}7$ kg

$$y'_m = \frac{\max(-V_A\ ;\ V_B)}{H} = \frac{112{,}7}{341} = 0{,}33$$

$$z'_m = 0$$

$$y'^2_m + 2y'_m\,|\sin\varphi| + z'^2_m = 0{,}33^2 + 0 + 0 = 0{,}108 < 1$$

— Starea V

$\max(-V_A\ ;\ V_B) = \max(210{,}5\ ;\ 198{,}1) = 210{,}5$ kg

$\max(-W_A\ ;\ W_B) = \max(136{,}6\ ;\ 130) = 136{,}6$ kg

$$y'_m = \frac{\max(-V_A\ ;\ V_B)}{H} = \frac{210{,}5}{1330} = 0{,}16$$

$$z'_m = \frac{\max(-W_A\ ;\ W_B)}{H} = \frac{136{,}6}{1330} = 0{,}103$$

$$y'^2_m = 2y'_m\,|\sin\varphi| + z'^2_m = 0{,}16^2 + 0 + 0{,}103^2 = 0{,}0362 < 1$$

În toate cazurile, relațiile utilizate sînt valabile.

2. Limita superioară a erorii relative.

— Starea I :

$$z'_m = 0 < 0{,}707$$

$$\varrho = 100\,\frac{y'^2_m + 2y'_m\,|\sin\varphi|}{2 - [y'^2_m + 2y'_m\,|\sin\varphi|]} = 100\,\frac{0{,}26^2 + 0}{2 - (0{,}26^2 + 0)} = 3{,}5\%$$

— Starea II :

$$z'_m = 0{,}15 < 0{,}707$$

$$\varrho = 100\,\frac{0{,}23^2 + 0}{2 - (0{,}23^2 + 0)} = 2{,}7\%$$

— Starea III :

$$z'_m = 0{,}0476 < 0{,}707$$

$$\varrho = 100\,\frac{0{,}23^2 + 0}{2 - (0{,}23^2 + 0)} = 2{,}7\%$$

— Starea IV :

$$z'_m = 0 < 0{,}707$$

$$\varrho = 100\,\frac{0{,}33^2 + 0}{2 - (0{,}33^2 + 0)} = 5{,}8\%$$

— Starea V :

$$z'_m = 0{,}103 < 0{,}707$$

$$\varrho = 100\,\frac{0{,}16^2 + 0}{2 - (0{,}16^2 + 0)} = 1{,}35\%$$

Datele calculate mai sus sînt trecute în breviarul anexat.

CENTRALA sau **STAȚIA** .....

Conductori neizolați flexibili

Breviar de calcul

Elaborat cf. instrucțiunilor de proiectare ISEP — Centrale și Stații, partea electrică, vol. I.

A. — DATE GENERALE

Nr. crt.	Denumirea			Simbol	Unitatea de măsură	Valoarea
1	Altitudinea			—	m	200
2	Condiții meteorologice	Temperatura aerului	Maximă	θ_a	°C	+40
			La chiciură	θ_c	°C	—5
			Minimă	θ_{min}	°C	—30
		Viteza vîntului	Maximă	v_{max}	m/s	30
			La chiciură	v_c	m/s	20
		Chiciura	Grosimea stratului	d'	cm	2
			Densitatea	γ_c	kg/dm³	0,9

Nr. crt.	Denumirea	Unitatea de măsură	Stări de calcul					
			I	II	III	IV	V	La montare
1	Temperatura	°C	— 30	— 5	— 5	+ 70	— 5	—20...+40
2	Viteza vîntului	m/s	—	30	20	—	20	—
3	Chiciura	—	—	—	da	—	da	—
4	Scurtcircuit	—	—	—	—	—	da	—
5	Rezistența admisibilă în conductori	kg/mm²	3,9	4,8	4,8	7,4	10,3	—

B. CALCULUL ELECTRIC

Locul de montare : celulă de linie 110 kV.

Nr. crt.	Criteriul de dimensionare	Denumirea		Simbol	Unitatea de măsură	Valoarea
1	Curentul maxim de durată	Secțiunea aleasă		s	mm²	OL-Al 300/50
		Curentul maxim de durată la +40° C		I	A	500
		Curentul admisibil la +40° C		I_a	A	575 *) *)
2	Stabilitatea termică la scurtcircuit	Raportul R/X al rețelei		R/X	—	0,1
		Coeficientul de șoc		$\varkappa$	—	1,75
		Timpul de declanșare total	La prima declanșare	t_1	s	0,30
			La a doua declanșare	t_2	s	0,15
		Coeficientul m	La prima declanșare	m_1	—	0,15
			La a doua declanșare	m_2	—	0,30
		Raportul I_{po}/I_∞		—	—	1,20
		Coeficientul n	La prima declanșare	n_1	—	0,97
			La a doua declanșare	n_2	—	0,98
		Curentul mediu echivalent	La prima declanșare	Im_1	A	18.250
			La a doua declanșare	Im_2	A	13.800
			Total	Im_t	A	22.850
		Temperatura conductorului	Inițială	θ_c	°C	63
			Finală	θ_{sc}	°C	160
		Densitatea de curent admisibilă		j_t	A/mm²	77
		Secțiunea necesară		s_t	mm²	297
3	Efectul corona	Distanța între axele fazelor		a	cm	220
		Distanța între axele conductorilor fasciculați		a'	cm	—
		Diametrul conductorului		d	cm	2,42
		Tensiunea critică de efect corona		U_{cr}	kv	168
		Tensiunea maximă de funcționare		U_m	kv	123

*) Rîndurile libere sînt pentru circuitele de transformator, la care trebuie verificat conductorul și la supraîncărcarea admisă pentru transformator, eventual la altă temperatură a aerului decît θ_a (conf. 3.4).

C. CALCULUL MECANIC

1. Date generale pentru întreaga deschidere

Nr. crt.	Denumirea			Simbol	Unitatea de măsură	Valoarea
1	Lungimea deschiderii			L	m	29,5
2	Secțiunea reală totală			s	mm²	344,4
3	Modul de elasticitate echivalent			E	kg/mm²	7660
4	Coeficientul de dilatare termică echivalent			α	°C⁻¹	18.5×10^{-6}
5	Constanta resortului			R	m/kg	0
6	Tangenta unghiului de denivelare			tgφ	—	0
7	Săgeata maximă		Pe verticală	f_{max}	m	0,9
			Pe orizontală	f^{r}_{max}	m	—
8	Săgeata minimă pe verticală			f_{min}	m	—
9	Abscisele punctelor în care se determină ordonatele pe verticală. (Originile la capătul din stînga al deschiderii)			x_1	m	—
				x_2	m	—
				x_3	m	—
				x_4	m	—
				x_5	m	—
				x_6	m	—
10	Eforturi unitare conductor	Vertical	Greutate proprie	g	kg/m	1,21
			Greut. proprie + + chiciură	g_c	kg/m	3,71
		Orizontal	Vînt maxim	p	kg/m	1,50
			Vînt la chiciură	p_c	kg/m	1,93
			Vînt la chiciură + + sc. circ.	p_{sc}	kg/m	8,79
11	Eforturi unitare izolatori	Vertical	Greutate proprie	g	kg/m	43,20
			Greut. proprie + + chiciură	g_c	kg/m	68,60
		Orizontal	Vînt maxim	p	kg/m	11,00
			Vînt la chiciură	p_c	kg/m	5,60
12	Ipoteza de calcul (conf. 4.2.1.4) : se fixează o săgeată maximă					

2. Date corespunzătoare fiecărui interval.

Intervalul	Material	Lungimea m	Forțe concentrate la dreapta (kg.)			
			F	F_c	P	P_c
1	Izolatori (lanț flexibil)	2,0	6,0	18,0	7,5	9,7
2	Conductor Ol-Al 300/50	15,5	6,0	6,1	1,2	0,9
3	Conductor Ol-Al 300/50	10,0	0	0	0	0
4	Izolatori (lanț flexibil)	2,0	—	—	—	—
5						
6						

3. Date rezultate din calcul.

Nr. crt.	Denumirea		Simbol	Unitatea de măsură	Valoarea la diverse stări (kg) I	II	III	IV	V
1	Componenta H a efortului		H	kg	430	494	900	341	1330
2	Componenta verticală a efortului	Capătul A	V_A	kg	—112,7	—112,7	—210,5	—112,7	—210,5
		Capătul B	V_B	kg	109	109	198,1	109	198,1
3	Componenta orizontală a efortului	Capătul A	W_A	kg	0	—51,7	—49,1	0	—136,6
		Capătul B	W_B	kg	0	46,7	42,8	0	130
4	Efort în conductor	Capătul A	T_A	kg	444	510	925	359	1350
		Capătul B	T_B	kg	441	510	925	359	1350
5	Rezistența în conductor		σ	kg/mm²	1,29	1,48	2,69	1,04	3,92
6	Limita erorii de calcul		ϱ	%	3,5	2,7	2,7	5,8	1,35
7	Săgeata	Pe verticală	f	m	0,71	0,62	0,78	0,90	0,53
		Pe orizontală	f'	m	—	—	—	—	—
8	Ordonatele (pe verticală) față de capătul A ale punctelor cu abscisa $x_1 \ldots x_6$		y_1	m	—	—	—	—	—
			y_2	m	—	—	—	—	—
			y_3	m	—	—	—	—	—
			y_4	m	—	—	—	—	—
			y_5	m	—	—	—	—	—
			y_6	m	—	—	—	—	—

4. Eforturi transmise construcțiilor de susținere.

Nr. crt.	Denumirea		Simbol	Unitatea de măsură	Valoarea la diverse stări (kg) I	II	III	IV	V
1	Efort orizontal în lungul deschiderii		H'	kg	430	494	900	341	1330
2	Efort vertical	Capătul A	V'_A	kg	112,7	112,7	210,5	112,7	210,5
		Capătul B	V'_B	kg	109	109	198,1	109	198,1
3	Efort orizontal normal pe deschidere	Capătul A	W'_A	kg	0	51,7	49,1	0	136,6
		Capătul B	W'_B	kg	0	46,7	42,8	0	130

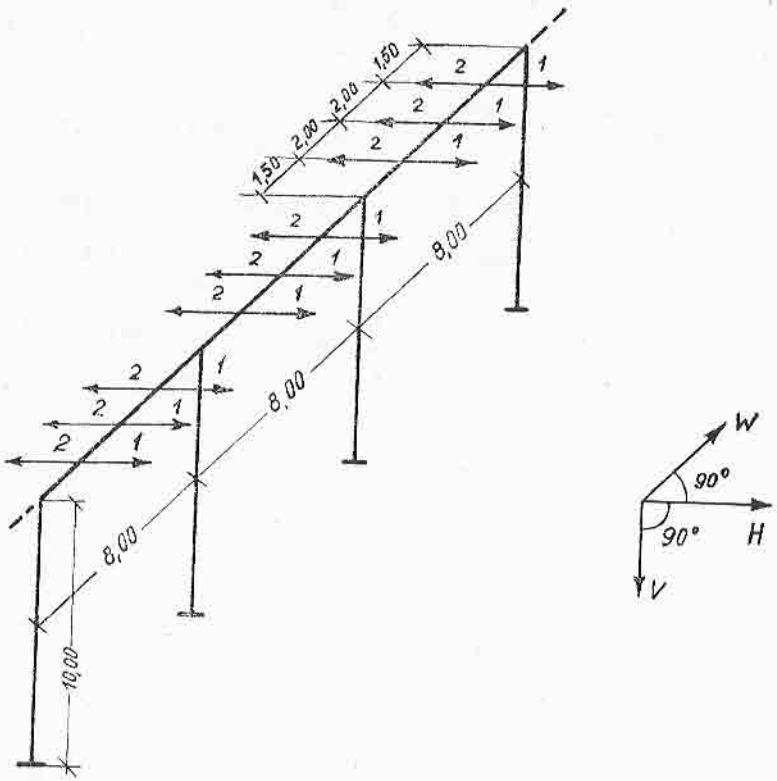
5. Eforturi și săgeți la montare *)

Temperatura °C	Eforturi (kg) Componenta H	Tracțiunea T_A la capătul A	Tracțiunea T_B la capătul B	Săgeți m
—20	376	391	389	0,56
—10	363	379	378	0,58
0	352	368	367	0,60
10	344	359	358	0,61
20	335	352	350	0,63
30	326	343	341	0,65
40	318	336	334	0,66

*) Se consideră existentă sarcina concentrată F_1

Temă pentru proiectarea cadrelor de susținere

Exemplu



Conductorul	Componenta	Valoarea componentelor la diverse stări (kg)			
		I	II	III	IV
1	H'	43	494	900	1330
	V'	112,7	112,7	210,5	210,5
	W'	0	51,7	49,1	136,6

Notă: În această schemă, conductorii sînt reprezentați convențional după direcția H.

Situații normale (de lungă durată) :

Starea I : Temperatura —30° C, lipsesc chiciura și vîntul

Starea II : Temperatura —5° C, viteza vîntului 30 m/s, lipsește chiciura.

Starea III : Temperatura — 5° C, viteza vîntului 20 m/s, există chiciură.

Situații excepționale (de scurtă durată) :

Starea V : Scurt-circuit bifazat în condițiile stării III.

Eforturile indicate la starea V apar simultan la două faze alăturate din fiecare deschidere (aceleași în toate deschiderile), în timp ce la a treia fază rămîn valabile valorile indicate la starea III.

Componentele W ale celor două faze afectate se compun din efortul electrodinamic la scurt-circuit și din forța vîntului. Eforturile electrodinamice sînt de sensuri contrare și se anulează reciproc în riglă, iar forța vîntului are același sens în toate fazele, valoarea sa fiind egală cu componenta W' pentru cea de a treia fază.

* * *

La starea I se consideră în plus următoarele sarcini suplimentare pe construcțiile de susținere ale fiecărui circuit trifazat :

— Greutatea a 2 oameni cu uneltele respective (total 2×100 kg) în cea mai defavorabilă poziție.

— Sarcini provenind din ridicarea unor aparate, atunci cînd se folosesc dispozitive de ridicare fixate pe construcțiile de susținere : nu este cazul în exemplul de față.

Notă : 1) Cînd planul vertical al conductorilor face un unghi diferit de 90° cu planul cadrelor, se va indica în schiță acest unghi.

2) În cazul conductorilor fasciculați, se va indica efortul de șoc total la scurt-circuit, conform anexei 16, considerîndu-se ca situație excepțională.

Conductori fasciculați

1. Utilizarea conductorilor fasciculați se face în următoarele scopuri :

— Mărirea curentului admisibil de durată, cînd secțiunea unui singur conductor nu este suficientă.

— Mărirea tensiunii critice de efect corona.

— Montarea piesei de contact fixe la separatoarele de tip pantograf.

2. Distanța uzuală între conductorii unui fascicol este de 10...40 cm. Dacă fascicolul realizează o legătură scurtă între două aparate, se poate adopta distanța de 10 cm între conductori. În cazul fascicolelor suspendate, această distanță este de 20...40 cm. Cînd există separatoare pantograf ale căror piese de contact superioare se fixează pe fascicolul de conductori, distanța între conductorii fascicolului este de obicei de 40 cm sau mai mult.

3. Se presupune o repartiție egală a curentului între conductorii fascicolului.

4. Curentul de durată admisibil pentru întregul fascicol este egal cu suma curenților de durată admisibili ai conductorilor fascicolului.

5. Între conductorii unui fascicol se prevăd din loc în loc piese de distanță. Ele au scopul de a împiedica atingerea conductorilor sub acțiunea forțelor electrodinamice dezvoltate prin trecerea curentului de durată admisibil, ceea ce ar mări încălzirea conductorilor și ar putea provoca deteriorări mecanice prin loviri repetate.

6. În cazul conductorilor dubli și tripli, distanța maximă l_{max} între piesele de distanță poate fi determinată cu relația :

$$l_{max} = K \frac{a' \sqrt{H}}{I_a} \quad (\text{m})$$

unde : a' = distanța normală între conductorii fascicolului, determinată de piesele de distanță (m).

H = componenta efortului de tracțiune într-un singur conductor, dirijată după linia care unește punctele de suspensie ale conductorului. Se determină pe baza metodei de calcul expusă anterior. În relația de mai sus, se introduce valoarea cea mai mică dintre cele rezultate la diverse stări (kg).

I_a = curentul de durată admisibil pentru un singur conductor (A).

K = coeficient care are valoarea :

— conductori dubli : $K = 5000$

— conductori tripli situați la distanțe egale (în triunghi) : $K = 4000$

Relația de mai sus este determinată pe baza condiției ca între două piese de distanță, forțele electrodinamice în regim normal să determine apropierea conductorilor la o distanță a'' egală cu cca 80% din a'.

7. La amplasarea efectivă a pieselor de distanță se procedează astfel :

— În dreptul oricăror derivații sau cleme de legătură se prevăd piese de distanță. În caz contrar, se poate produce deteriorarea la scurt-circuit a conductorilor prin lovire.

— În restul deschiderii, piesele de distanță se distribuie cît mai uniform, la distanțe cît mai apropiate de l_{max}, fără a depăși însă această valoare. Nu se recomandă distanțe prea mici, căci în acest caz crește efortul suplimentar la scurt-circuit.

8. La trecerea unui curent de scurt-circuit, conductorii se apropie și de obicei se ating pe o anumită lungime λ (cazul conductorilor dubli reprezentat în fig. 8). Aceasta se produce

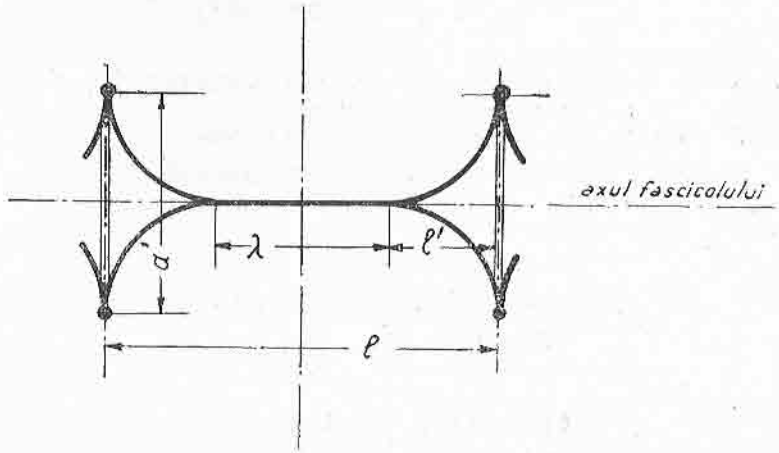


Fig. 8

extrem de repede, înainte ca întregul fascicol să aibe timpul de a-şi schimba apreciabil poziţia. Alungirea care rezultă dă naştere unui efort de tracţiune suplimentar, pe baza legii lui Hooke.

Cercetările au arătat că după un timp foarte scurt (cca 0,05 s), acest efort suplimentar de şoc se reduce mult, probabil din cauza schimbării de traseu a întregului fascicol [7]. În practică este însă recomandabil a se considera o durată de cel puţin două ori mai mare decît cea indicată mai sus.

9. Efortul de tracţiune suplimentar (sarcină de şoc) în caz de scurt-circuit se calculează astfel:

a) Se face ipoteza alipirii conductorilor pe o anumită porţiune λ (fig. 8) şi se calculează forţele de atracţie atît în porţiunea λ, cît şi în dreptul pieselor de distanţă:

$$f_M = 2{,}04 \left(\frac{I_s}{n}\right)^2 \cdot \frac{10^{-2}}{d} \quad \text{(kg/m)}$$

$$f_m = 2{,}04 \left(\frac{I_s}{n}\right)^2 \cdot \frac{10^{-2}}{a'} \quad \text{(kg/m)}$$

unde:

d = diametrul conductorului (m)
a' = distanţa între conductorii fascicolului, determinată de piesele de distanţă (m)
n = numărul de conductori ai fascicolului
I_s = valoarea eficace a curentului de scurt-circuit de şoc al fazei (kA). Se determină cu relaţia:

$$I_s = I_{3p_0} \sqrt{1 + 2\,(\varkappa - 1)^2} \quad \text{(kA)}$$

unde:

I_{3p_0} = valoarea eficace iniţială a componentei periodice a curentului de scurt-circuit trifazat (kA).
$\varkappa$ = factorul de şoc, determinat conform 4. 1. 3. 2.

b) Se determină lungimile l' de la capetele intervalelor, pe care conductorii nu se alipesc (fig. 8), prin rezolvarea ecuaţiei de gradul III:

— conductori dubli:

$$l'^3 - \frac{6\,(a' - d)\,T_0}{5\,f_M + f_m}\,l' = \frac{2\,Es\,(a' - d)^3}{l\,(5\,f_M + f_m)}$$

— conductori tripli, aşezaţi la distanţe egale (în triunghi):

$$l'^3 - \frac{4\,(a' - d)\,T_0}{5\,f_M + f_m}\,l = \frac{16\,Es\,(a' - d)^3}{9\,l\,(5\,f_M + f_m)}$$

unde: l = distanţa între piesele de distanţă; dacă acestea sînt amplasate la distanţe inegale, se alege valoarea care se repetă cel mai des în cadrul deschiderii sau se face o medie ponderată a diverselor valori (m).
l' = lungimea porţiunilor din apropierea pieselor de distanţă, în care conductorii nu se alipesc (m)
T_0 = tracţiunea iniţială în conductor (kg)
E = modulul de elasticitate echivalent al conductorului (kg/mm²)
s = secţiunea totală a conductorului (mm²)

c) Dacă $l' \leqslant \frac{l}{2}$, ipoteza făcută la pct. a) precedent este justă şi rezultă efortul suplimentar de şoc ΔT într-un singur conductor al fascicolului:

— conductori dubli:

$$\Delta T = \frac{(a' - d)^2}{3\,l\,l'}\,Es \quad \text{(kg)}$$

— conductori tripli:

$$\Delta T = \frac{4\,(a' - d)^2}{9\,l\,l'}\,Es \quad \text{(kg)}$$

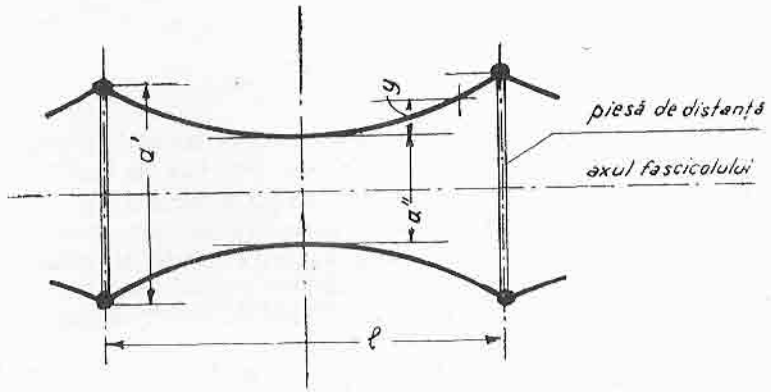


Fig. 9

d) Dacă $l' > \frac{l}{2}$, ipoteza iniţială nu este justă. Conductorii se apropie la distanţa a'', fără a se atinge (fig. 9). În acest caz se determină distanţa b din ecuaţia de gradul III:

— conductori dubli:

$$b^3 + \frac{3\,T_0\,l^2}{2\,Es}\,b = \frac{(5\,f_M + f_m)\,l^4}{16\,Es}$$

— conductori tripli, așezați la distanțe egale (în triunghi):

$$b^3 + \frac{9\,T_0\,l^2}{8\,Es}\,b = \frac{9\,(5\,f_M + f_m)\,l^4}{128\,Es}$$

unde: $b = a' - a''$ (m)

Ecuația se rezolvă prin încercări. Se acordă mărimii a'' o valoare arbitrară, pe baza căreia se determină f_M:

$$f_M = 2{,}04\left(\frac{I_s}{n}\right)^2 \cdot \frac{10^{-2}}{a''} \quad \text{(kg/m)}$$

Introducînd această valoare în ecuația de mai sus, se determină b, apoi a'', care trebuie să coincidă cu valoarea adoptată inițial. Sînt necesare cîteva încercări.

Efortul suplimentar de șoc este:

— conductori dubli:

$$\Delta T = \frac{2\,(a' - a'')^2}{3\,l^2}\,Es \quad \text{(kg)}$$

— conductori tripli:

$$\Delta T = \frac{8\,(a' - a'')^2}{9\,l^2}\,Es \quad \text{(kg)}$$

10. Se verifică dacă efortul de șoc este admisibil pentru conductorul însuși, cleme, izolatori, construcțiile de susținere, etc. În prezent nu există însă criterii ferme în această privință.

— Pentru conductori, cleme și izolatorii de suspensie, valoarea admisibilă a efortului total $T_0 + \Delta T$ poate fi eventual considerată egală cu cea corespunzătoare coeficientului de siguranță 2 sau chiar 1,5. Este recomandabilă verificarea experimentală a acestei ipoteze.

— La bornele de racord ale aparatelor, efortul total $T_0 + \Delta T$ nu trebuie să depășească tracțiunea admisibilă. Condiția este în general greu de satisfăcut.

— În cazul construcțiilor de susținere, efortul de șoc provoacă oscilații ale acestora, a căror predeterminare prin calcul este dificilă. Valoarea admisibilă a efortului de șoc trebuie stabilită în funcție de tipul construcțiilor de susținere, de preferință pe cale experimentală.

Se poate ține seama de faptul că nu în toate fazele componenta continuă a curentului de scurt-circuit are valoarea maximă. Atunci cînd este maximă într-una din faze (fiind valabilă relația indicată la pct. 9-a precedent), pentru celelalte faze trebuie folosită relația:

$$I_s = I_{3p0}\sqrt{1 + \frac{(\varkappa - 1)^2}{2}} \quad \text{(kg)}$$

De asemenea, la dimensionarea construcțiilor de susținere se poate ține seama de faptul că efortul suplimentar de șoc nu apare de la început cu valoarea maximă, ci crește treptat de la zero. În acest caz, impulsul este produsul dintre timpul de acționare și o valoare medie a forței (în locul valorii maxime).

11. În timpul scurt-circuitului, piesele de distanță sînt supuse unui efort de compresiune F_c din partea conductorilor, avînd valoarea:

a) Conductori dubli:

— Dacă se produce alipirea conductorilor pe o anumită lungime:

$$F_c = 2\,l'\,\frac{2\,f_M + f_m}{3} \quad \text{(kg)}$$

— Dacă nu se produce alipirea conductorilor:

$$F_c = l\,\frac{2\,f_M + f_m}{3} \quad \text{(kg)}$$

unde: f_M are valoarea determinată prin încercări, conf. pct. 9—d precedent.

b) Conductori tripli așezați la distanță egală (în triunghi).

— Dacă se produce alipirea conductorilor pe o anumită lungime:

$$F_c = 2\sqrt{3}\,l'\,\frac{2\,f_M + f_m}{3} \quad \text{(kg)}$$

— Dacă nu se produce alipirea conductorilor:

$$F_c = \sqrt{3}\,l\,\frac{2\,f_M + f_m}{3} \quad \text{(kg)}$$

unde: f_M are valoarea determinată prin încercări, conf. pct. 9—d precedent.

Forța F_c dată de fiecare conductor este dirijată spre centrul triunghiului format din cei 3 conductori.

Exemplu de calcul

1. Datele inițiale:

— Conductor dublu 2 OI-A1 300/50 mm²
— Diametrul conductorului: $d = 2{,}42$ cm
— Modulul de elasticitate echivalent: $E = 7660$ kg/mm²
— Secțiunea totală a conductorului: $s = 344{,}4$ mm²
— Distanța între conductori: $a' = 20$ cm
— Curentul de durată admisibil: $I_a = 575$ A
— Valoarea eficace inițială a componentei periodice a curentului de scurt-circuit trifazat: $I_{3po} = 31{,}5$ kA
— Factorul de șoc: $\varkappa = 1{,}75$
— Componenta H a tensiunii minime în conductor (la starea IV): $H = 341$ kg
— Tensiunea în conductor înainte de scurt-circuit (la starea III): $T_0 = 925$ kg

Datele pentru un singur conductor corespund exemplului de calcul din anexa 14.

2. Distanța maximă între piesele de distanță:

$$l_{max} = 5000 \frac{a' \sqrt{H}}{I_a} = 5000 \frac{0{,}2 \sqrt{341}}{575} = 32{,}2 \text{ m}$$

3. Piesele de distanță se amplasează în primul rînd în dreptul derivațiilor la aparate. Conform exemplului din anexa 14, conductorul se împarte în două intervale, cu lungimile de 15,5 și 10 m. Întrucît aceste lungimi nu depășesc valoarea l_{max}, nu sînt necesare alte piese intermediare.

Pentru determinarea efortului suplimentar de șoc se poate adopta în calcul o valoare medie:

$$l = 12{,}75 \text{ m}$$

4. Valoarea eficace a curentului de scurt-circuit de șoc:

$$I_s = I_{3po} \sqrt{1 + 2(\varkappa - 1)^2} = 31{,}5 \sqrt{1 + 2(1{,}75 - 1)^2} = 46 \text{ kA}$$

5. Se face ipoteza alipirii conductorilor pe o anumită porțiune λ, în caz de scurtcircuit. Se determină efortul electrodinamic:

$$f_M = 2{,}04 \frac{I_s^2}{4\,d} \cdot 10^{-2} = 2{,}04 \frac{46^2}{4 \times 0{,}0242} \cdot 10^{-2} = 445 \text{ kg/m}$$

$$f_m = 2{,}04 \frac{I_s^2}{4\,a'} \cdot 10^{-2} = 2{,}04 \frac{46^2}{4 \times 0{,}2} \cdot 10^{-2} = 54 \text{ kg/m}$$

6. Determinarea lungimii l' de la capetele intervalelor, pe care conductorii nu se alipesc:

$$l'^3 - \frac{6\,(a' - d)\,T_0}{5\,f_M + f_m}\,l' = \frac{2\,Es\,(a' - d)^3}{l\,(5\,f_M + f_m)}$$

$$l'^3 - \frac{6\,(0{,}2 - 0{,}0242) \times 925}{5 \times 445 + 54}\,l' = \frac{2 \times 7660 \times 344{,}4\,(0{,}2 - 0{,}0242)^3}{12{,}75\,(5 \times 445 + 54)}$$

$$l'^3 - 0{,}428\,l' = 0{,}987$$

$$l' = 1{,}14 \text{ m.}$$

Întrucît $l' < \frac{l}{2}$, rezultă că ipoteza alipirii conductorilor pe o anumită porțiune este justă.

7. Efortul suplimentar de șoc într-un singur conductor:

$$\Delta T = Es \frac{(a' - d)^2}{3\,l\,l'} = 7660 \times 344{,}4 \frac{(0{,}2 - 0{,}0242)^2}{3 \times 12{,}75 \times 1{,}14} = 1870 \text{ kg}$$

8. Efortul de șoc total:

$$T_s = T_0 + \Delta T = 925 + 1870 = 2795 \text{ kg}$$

Pentru conductor:

$$\sigma = \frac{T_s}{s} = \frac{2795}{344{,}4} = 8{,}1 \text{ kg/mm}^2 < \sigma_a = 10{,}3 \text{ kg/mm}^2$$

la $-5°$ C, cu coeficient de siguranță 2.

Pentru lanțurile duble de izolatori, elementul cu cel mai mic efort admisibil îl constituie izolatorul IC—190: efort admisibil 1125 kg cu coeficient de siguranță 4 (v. anexa 9). Coeficientul de siguranță în cazul efortului de 2795 kg:

$$\frac{4 \times 1125}{2795} = 1{,}6$$

9. Efortul de compresiune asupra pieselor de distanță:

$$F_c = 2\,l' \frac{2\,f_M + f_m}{3} = 2 \times 1{,}14 \frac{2 \times 445 + 54}{3} = 720 \text{ kg.}$$

Utilizarea mașinilor electronice pentru calculul mecanic

1. Caracteristicile metodei de calcul

1. În afară de reducerea considerabilă a timpului necesar, calculul cu mașina electronică oferă o serie de posibilități suplimentare. În scopul punerii în valoare a acestora, metoda de calcul arătată în prezentele instrucțiuni a fost completată și extinsă, realizîndu-se programul de calcul expus mai jos.

2. Ca particularități ale acestui program de calcul se menționează următoarele:

a) Se poate ține seama de elasticitatea construcțiilor de susținere.

b) Se poate executa calculul în cazul existenței unor resoarte de suspensie. Aceste resoarte permit micșorarea eforturilor de tracțiune și reducerea variației săgeților la diversele stări.

c) Calculul se poate efectua în următoarele 4 ipoteze:

— Se fixează un efort maxim, care poate fi diferit la diversele stări, după coeficientul de siguranță admis. Rezultă eforturile și săgețile la toate stările.

— Se fixează o săgeată maximă pe verticală și pe orizontală, sau numai pe una din aceste direcții. Rezultă eforturile și săgețile la toate stările.

— Se fixează atît efortul maxim (care poate fi diferit la diversele stări), cît și săgeata maximă pe verticală și pe orizontală (sau numai pe una din aceste direcții). Rezultă caracteristica resortului necesar pentru încadrarea în limitele fixate, precum și eforturile și săgețile la toate stările. În general efortul maxim poate fi mult redus prin introducerea resoartelor.

— Se fixează atît săgeata maximă pe verticală și pe orizontală (sau numai pe una din aceste direcții), cît și cea minimă pe verticală. Rezultă caracteristica resortului necesar pentru încadrarea în limitele fixate, precum și eforturile și

săgețile la toate stările. Variația săgeții pe verticală poate fi redusă prin introducerea resoartelor, fapt important în cazul separatoarelor de tip pantograf.

d) Metoda de calcul ține seama de comportarea elastică a materialului din care este compus fiecare interval. Se stabilesc următoarele categorii de intervale:

— Interval flexibil. Exemplu: conductorii, lanțurile de izolatori de suspensie cu capă.

— Interval rigid deplasabil. Exemplu: izolatorii de tip tijă, care sînt rigizi, dar se pot deplasa pe verticală și pe orizontală.

— Interval rigid nedeplasabil. Exemplu: izolatorii în V, care formează un ansamblu rigid și aproximativ nedeplasabil pe orizontală.

e) Depășirea anumitor valori admisibile (eforturi, săgeți, etc.) este automat semnalată de mașina de calculat.

f) Programul de calcul este valabil și pentru linii electrice aeriene.

3. Sarcinile unitare ale intervalelor la diverse stări, precum și sarcinile concentrate la diverse stări, trebuie introduse în mașină ca date antecalculate. Aceste date vor fi calculate cu rigla sau — dacă este posibil — vor fi luate direct din tabele.

5. Programul nu cuprinde calculul efortului suplimentar de șoc la scurt-circuit în cazul conductorilor fasciculați. Acest calcul se efectuează separat, conform anexei 16.

2. Transcrierea datelor inițiale

1. În vederea executării calculului mecanic la mașina electronică, datele inițiale se vor prezenta sub forma unui tabel conform modelului alăturat (fără indicarea pe margine a grupelor și a intervalelor). Se anexează de asemenea un model de tabel gata completat.

2. În locul diverselor simboluri, se vor trece direct valorile corespunzătoare, conform indicațiilor de mai jos.

3. Mărimile din grupa I:

N = numărul programului, după care se face identificarea acestuia în biblioteca de programe.

L_{tz} = lungimea totală a izolatorilor din deschidere (m)

s = secțiunea totală a conductorului (mm^2)

E = modulul de elasticitate echivalent al conductorului (kg/mm^2)

α = coeficientul de dilatare termică echivalent al conductorului ($^{0}C^{-1}$)

sin φ = sinusul unghiului de denivelare, care este pozitiv cînd capătul din stînga al deschiderii este la un nivel inferior celui din dreapta (fig. 4).

R = constanta elastică a construcțiilor de susținere (dacă trebuie luată în considerare) sau a resortului (dacă există și este stabilită dinainte), în m/kg. Reprezintă deplasarea construcției de susținere sau a capătului mobil al resortului în m, cînd se aplică o forță de 1 kg. Dacă se ia în considerare atît elasticitatea construcțiilor de susținere, cît și un resort cunoscut dinainte, R reprezintă suma constantelor lor. Cînd construcțiile de susținere se consideră rigide și nu există resort sau constanta acestuia trebuie determinată prin calcul, se consideră în cadrul datelor inițiale $R = 0$.

f_{max} = săgeata maximă pe verticală (m). În cazul $a=0$, valoarea f_{max} nu se precizează, iar datele următoare de pe același rînd se mută cu un spațiu spre stînga, ocupînd locul rămas liber.

f'_{max} = săgeata maximă pe orizontală (m). În cazul $a=0$, aceeași observație ca mai sus. Dacă în cazurile $a=1$, $a=2$ sau $a=3$, valoarea f'_{max} nu este impusă, se presupune că ea nu va depăși 10 m și se va înscrie în tabel valoarea 10.

f_{min} = săgeata minimă pe verticală (m). Se precizează în cazurile în care se urmărește reducerea variației săgeții pe verticală, prin introducerea unui resort, a cărui constantă urmează să fie determinată prin calcul. Cînd această valoare nu este stabilită dinainte (cazurile $a=0$, $a=1$ și $a=2$), nu se înscrie nimic în tabel, iar valoarea a se mută cu un spațiu spre stînga.

a = o cifră care indică ipoteza de calcul și anume:

0 — se pleacă de la efortul maxim la diverse stări

1 — se pleacă de la săgeata maximă pe orizontală și pe verticală.

2 — se pleacă de la efortul maxim la diverse stări și de la săgeata maximă pe orizontală și pe verticală; se determină constanta resortului necesar pentru respectarea limitelor fixate.

3 — se pleacă de la săgeata maximă pe orizontală și pe verticală și de la săgeata minimă pe verticală; se determină constanta resortului necesar pentru respectarea limitelor fixate.

$x_1 \ldots x_6$ = abscisele punctelor în care trebuie determinate săgețile pe verticală. Se măsoară în lungul liniei AB care unește punctele de suspensie ale conductorului, pornind de fiecare dată de la capătul A al deschiderii (m). Dacă sînt mai puțin de 6 puncte în interiorul deschiderii, în locul celorlalte valori nu se notează nimic. Dacă nu există astfel de puncte, grupa I rămîne numai cu 3 rînduri.

4. Mărimile din grupa II cuprind sarcinile uniform distribuite (kg/m) care intervin în calcul, de exemplu:

— Rîndul 1 al grupei: sarcinile conductorului.

— Rîndul 2 al grupei: sarcinile izolatorilor.

— Rîndul 3 al grupei: sarcinile unui al treilea material (dacă există). Exemplu: un lanț de izolatori situat în mijlocul deschiderii, cu caracteristici diferite de cele ale lanțurilor de la capete. Lanțurile de la capete pot fi duble, iar cel din interiorul deschiderii simplu, sau format din izolatori de alt tip. Dacă nu există al treilea material, grupa II rămîne numai cu două rînduri. Se menționează că se admite inversarea destinației rîndurilor.

Coloanele vor avea următoarea destinație:

— Coloana 1: greutatea proprie.

— Coloana 2: greutatea proprie. (Repetarea este necesară pentru calcularea tabelelor de eforturi și săgeți pentru montare).

— Coloana 3: greutatea proprie + chiciura.

— Coloana 4: sarcină dată de vîntul cu viteza maximă cînd nu există chiciură.

— Coloana 5: sarcină dată de vîntul cu viteza v_c, cînd există chiciură.

— Coloana 6: sarcina dată de vîntul cu viteza v_c, cînd există chiciură, inclusiv efortul electrodinamic la scurtcircuit.

Schimbarea destinației coloanelor 3 ... 6, necesară în special în condițiile meteorologice din alte țări, este admisă.

Dacă numărul coloanelor necesare este mai mic (de exemplu nu se prevede apariția chiciurei), va rămîne liber numărul corespunzător de coloane. Coloanele libere se vor plasa totdeauna în partea dreaptă a tabloului.

5. Mărimile din grupa III:

Primele 5 coloane corespund celor 5 stări de calcul stabilite prin prezentele instrucțiuni. Dacă se consideră în calcul un număr mai mic de stări, se completează un număr corespunzător de coloane. În același timp, datele din coloana a 6-a (a căror semnificație va fi arătată mai jos) se deplasează spre

stînga, astfel încît coloanele libere să se găsească totdeauna în partea dreaptă a tabloului.

$c_I \ldots c_V$ = numărul coloanei din grupa II, în care sînt înscrise sarcinile verticale corespunzătoare stării respective.

$c'_I \ldots c'_V$ = numărul coloanei din grupa II, în care sînt înscrise sarcinile orizontale corespunzătoare stării respective.

Dacă la una din stări nu există sarcină orizontală, numărul c' corespunzător este 0. Greutatea proprie a fi reprezentată totdeauna prin $c = 1$ (valoarea $c = 2$ nefiind utilizată).

Exemplu (cu condiția ca destinația coloanelor grupei II să fie cea menționată la pct. 4 precedent) :

$c_I - c'_I$ se scrie 1 — 0
$c_{II} - c'_{II}$ „ „ 1 — 1
$c_{III} - c'_{III}$ „ „ 3 — 5
$c_{IV} - c'_{IV}$ „ „ 1 — 0
$c_V - c'_V$ „ „ 3 — 6

Se observă că cifra 2 nu a fost utilizată.

$\theta_I \ldots \theta_V$ = temperatura corespunzătoare stării respective (°C).

$\sigma_{aI} \ldots \sigma_{aV}$ = rezistența admisibilă totală a conductorului (kg/mm²), la fiecare stare. Pentru conductorii neomogeni, ea se determină conform anexei 5, sau poate fi luată direct din anexa 6. De asemenea, se va ține seama ca efortul de tracțiune total (σ_a) să nu depășească valoarea admisibilă pentru izolatori, cleme, construcții de susținere etc. Se va alege pentru σ_a la diversele stări, cea mai mică valoare care satisface condițiile de mai sus. Se va ține seama de această recomandare și în cazul în care se dorește limitarea efortului de tracțiune prin introducerea unor resoarte ($a = 2$).

θ_{min} = temperatura minimă la care se admite că se pot efectua lucrări de montare (°C). In țara noastră această valoare este de — 20°C (conform 4.2.1.2.).

q = numărul treptelor de temperatură (din 10 în 10°C) diferite de θ_{min}, la care se calculează tabelele de eforturi și săgeți pentru montare. Pentru țara noastră domeniul de temperatură este —20 ... +40°C (conform 4.2.1.2.), deci $q = 6$.

6. Mărimile din grupa IV caracterizează fiecare interval. Pentru fiecare interval se prevăd 2 rînduri. Impărțirea deschiderii în intervale se face conform 4.2.3.

In rîndul 1 al fiecărui interval se înscriu mărimile :

L_i = lungimea intervalului i (m)

d_i = comportarea elastică a intervalului i în plan vertical

d'_i = comportarea elastică a intervalului i în plan orizontal

Mărimile d_i și d'_i pot avea următoarele valori :

0 — interval flexibil (conductor, lanț de izolatori de suspensie cu capă etc.)

1 — interval rigid deplasabil (izolatori de tip tijă etc.)

2 — interval rigid nedeplasabil (izolatori în V, nedeplasabili pe orizontală).

Exemple privind mărimile $d_i - d'_i$:

— conductor : 0 — 0
— izolator de tip tijă : 1 — 1
— izolatori cu capă în V : 0 — 2
— izolatori tijă în V. 1 — 2

b_i = numărul rîndului din grupa II în care sînt înscrise sarcinile uniform distribuite corespunzătoare intervalului i.

In rîndul 2 al fiecărui interval se înscriu valorile forței concentrate situate la dreapta intervalului (kg) și anume :

— Coloana 1 : greutatea proprie

— Coloana 2 : greutatea proprie, în vederea calculării tabelelor de eforturi și săgeți pentru montare. Dacă sarcina concentrată respectivă există și în timpul montării (de exemplu legătură la aparate nedemontabilă), valoarea din coloana 2 va fi identică cu cea din coloana 1. Dacă sarcina concentrată nu există în timpul montării, se înscrie 0 în coloana 2.

— Coloana 3 : greutatea proprie + chiciura.

— Coloana 4 : sarcina dată de vîntul cu viteza maximă cînd nu există chiciură.

— Coloana 5 : sarcina dată de vîntul cu viteza v_c, cînd există chiciură.

— Coloana 6 : sarcina dată de vîntul cu viteza v_c, cînd există chiciură, inclusiv efortul electrodinamic la scurtcircuit. Intrucît însă, conform prezentelor instrucțiuni, nu este necesară considerarea efortului electrodinamic de scurtcircuit la forțele concentrate, în această coloană se va înscrie aceeași valoare ca în coloana 5.

Schimbarea destinației coloanelor 3...6, necesară în special în condițiile meteorologice din alte țări, este admisă.

Dacă numărul coloanelor necesare este mai mic (de exemplu nu se prevede apariția chiciurei), va rămîne liber numărul corespunzător de coloane. Coloanele libere se vor plasa totdeauna în partea dreaptă a tabloului.

În orice caz, pentru rîndul 2 al fiecărui interval, destinația coloanelor va fi identică cu cea a grupei II.

Rîndul 2 al ultimului interval nu se completează, întrucît forța concentrată F_n nu există.

3. *Transcrierea datelor finale de către mașina electronică*

1. După efectuarea calculului, mașina electronică transcrie pe hîrtie două grupe de date:

A. Datele inițiale, grupate în aceeași formă ca în tabelul anexat.

B. Rezultatele calculului, grupate de asemenea ca în tabelul anexat. Aceste valori sînt împărțite în 3 grupe după cum se arată în continuare.

2. Grupa I din tabelul B cuprinde rezultatele necesare pentru verificarea conductorilor, izolatorilor și clemelor.

Primele 5 coloane corespund celor 5 stări de calcul definite în coloanele corespunzătoare ale grupei III din tabelul A (date inițiale). Dacă numărul de stări este mai mic decît 5, se reduce corespunzător și numărul de coloane. Următoarea coloană la dreapta este destinată pentru semnalarea neîndeplinirii unor condiții de calcul și verificare.

L = lungimea totală a deschiderii (această dată servește numai ca verificare). (m).

R = constanta resortului (m/kg) (această valoare se înscrie numai dacă s-a cerut calcularea ei, adică în cazurile $a=2$ și $a=3$).

$H_I \ldots H_V$ = componenta efortului după direcția liniei care unește punctele de suspensie ale conductorului (kg).

$V_{AI} \ldots V_{AV}$ = componenta verticală a efortului la capătul A (kg).

$V_{BI} \ldots V_{BV}$ = componenta verticală a efortului la capătul B (kg).

$W_{AI} \ldots W_{AV}$ = componenta orizontală a efortului la capătul A, perpendiculară pe linia AB (kg).

$W_{BI} \ldots W_{BV}$ = componenta orizontală a efortului la capătul B, perpendiculară pe linia AB (kg).

$T_{AI} \ldots T_{AV}$ = efortul total de tracțiune la capătul A (kg).

$T_{BI} \ldots T_{BV}$ = efortul total de tracțiune la capătul B (kg).

$\sigma_I \ldots \sigma_V$ = rezistența totală maximă în conductor (kg/mm²).

$\varrho_I \ldots \varrho_V$ = limita superioară a erorii relative (%)

$f_I \ldots f_V$ = săgeata pe verticală (m)

$f'_I \ldots f'_V$ = săgeta pe orizontală (m)

$y_1 \ldots y_6$ = ordonatele în raport cu capătul din stînga al deschiderii, ale punctelor cu abscisele $x_1 \ldots x_6$: sînt pozitive dacă reprezintă nivele superioare capătului din stînga al deschiderii. În lipsa acestor puncte, rîndurile respective dispar și grupa II apare înscrisă mai sus.

Informații speciale:

X_1: Dacă în cazurile $a=1$, $a=2$ și $a=3$, mașina constată incompatibilitatea datelor inițiale, ea oprește calculul, înscriind o cifră în căsuța X_1 și anume:

1 — pentru respectarea săgeților prescrise este necesară depășirea efortului maxim admisibil (cazul $a=1$); efortul maxim este depășit chiar cînd săgeata este maximă, deci soluția resortului nu este aplicabilă (cazul $a=2$); variația admisă a săgeții este prea mică, astfel încît efortul minim este mai mare decît cel maxim (cazul $a=3$); detalii suplimentare în cadrul programului de calcul, expus în continuare.

2 — soluția utilizării unui resort este imposibilă; limitele de variație admise pentru efort sau săgeată sînt prea mici (cazul $a=2$ și $a=3$).

X_2: Dacă apare cifra 1, a fost depășită rezistența admisibilă cel puțin la una din stări.

X_3: dacă apare cifra:

1 — relațiile utilizate în calcul nu sînt valabile, unghiul conductorului cu dreapta AB la capete fiind prea mare (conductorul prea slab întins).

2 — relația utilizată pentru calcularea limitei superioare ϱ a erorii nu este valabilă, conductorul fiind prea slab întins.

Înscrierea ambelor cifre reprezintă cumularea informațiilor de mai sus.

X_4: informații asupra valorilor f și anume:

1 — a fost depășită săgeata maximă pe verticală (cazul $a = 1$, $a = 2$, $a = 3$).

2 — a fost depășită săgeata minimă pe verticală (cazul $a = 3$).

Înscrierea ambelor cifre reprezintă cumularea informațiilor de mai sus.

X_5 : informație asupra valorilor f' și anume :

1 — a fost depășită săgeata maximă pe verticală (cazul $a = 1$, $a = 2$, $a = 3$).

3. Grupa II cuprinde eforturile necesare pentru dimensionarea construcțiilor de susținere, definite în cadrul instrucțiunilor (kg). Coloanele corespund stărilor de calcul.

4. Grupa III cuprinde tabelul de eforturi și săgeți pentru montare (temperaturile în °C, eforturile în kg, săgețile în m). În capul fiecărui rînd este înscrisă temperatura corespunzătoare datelor din rîndul respectiv.

5. În funcție de posibilitățile mașinii de calcul, înscrierea datelor se poate face în alte unități decît cele menționate mai sus. Ele trebuie multiplicate în acest caz cu 10^n, unde n diferă la fiecare mărime și se stabilește la transcrierea programului pentru mașina respectivă.

4. *Programul de calcul*

Se indică mai jos algoritmul calculului, în vederea transcrierii sale pentru mașina electronică. Transcrierea propriu-zisă pentru un anumit tip de mașină nu face obiectul acestei lucrări.

S-a folosit o metodă iterativă, calculele repetîndu-se identic pentru fiecare interval. În afară de aceasta, întregul calcul este divizat într-un număr de blocuri. Rezultatele calculului se păstrează în memorie și se înscriu după terminarea calculului în tabelul de rezultate, conform modelului anexat.

Blocul A

Lungimea totală a deschiderii.

$$L = \sum_{1}^{n} L_i \quad (n = \text{numărul intervalelor})$$

Valoarea L se înscrie în tabelul de rezultate.

Blocul B

Componentele verticale și orizontale ale reacțiunilor la capete.

$$V_{is} = V_{i-1,\,d} + F_{i-1} \qquad (V_{1s} = 0)$$

$$V_{id} = V_{is} + g_i L_i$$

$$M_i = M_{i-1} - V_{is} L_i - \frac{g_i L_i^2}{2} \qquad (M_0 = 0)$$

Calculele se repetă pentru $i = 1, 2, \ldots, n$.

$$V_A = \frac{M_n}{L}$$

$$V_B = V_{nd} + V_A$$

Calculul se repetă pentru fiecare coloană a grupei II și a grupei III (rîndul 2 al fiecărui interval). Mărimile V_A și V_B corespunzătoare sarcinilor orizontale (coloanele notate cu $c'_1 \ldots c'_V$) se notează însă în tabelul final cu W_A și W_B. Mărimile V_A, V_B, W_A și W_B se înscriu în tabelul de rezultate.

Blocul C

Determinarea elementelor de calcul ale fiecărui interval.

Cazul $d = 0$ *sau* $d' = 0$

$$V_{is} = V_{i-1,\,d} + F_{i-1} \qquad (V_{1s} = V_A)$$

$$V_{id} = V_{is} + g_i L_i$$

$$M_i = M_{i-1} - V_{is} L_i - \frac{g_i L_i^2}{2} \qquad (M_0 = 0)$$

$$\Phi_i = \frac{V_{id}^3 - V_{is}^3}{g_i}$$

a) Dacă $V_{i-1,\,d} \cdot V_{is} \leqslant 0$:

Săgeata maximă în punctul $i-1$

$$M_{\max} = M_{i-1}$$

b) Dacă $V_{i-1,\,d} \cdot V_{is} > 0$ și $V_{is} \cdot V_{id} \leqslant 0$:

Săgeata maximă în intervalul i.

$$x_0 = -\frac{V_{is}}{g_i}$$

$$M_{\max} = M_{i-1} - V_{is} x_0 - \frac{g_i x_0^2}{2}$$

c) Dacă $V_{i-1,d} \cdot V_{is} > 0$ și $V_{is} \cdot V_{id} > 0$:

Săgeata maximă în alt interval.

Verificările de la pct. *a* și *b* nu se fac dacă $i = 1$.

Cazul $d = 1$ *sau* $d' = 1$

$$V_{is} = V_{i-1,d} + F_{i-1} \qquad (V_{1s} = V_A)$$

$$V_{id} = V_{is} + g_i L_i$$

$$M_i = M_{i-1} - V_{is} L_i - \frac{g_i L_i^2}{2} \qquad (M_0 = 0)$$

$$\Phi_i = 3 L_i \left(V_{is} + \frac{g_i L_i}{2} \right)^2$$

a) Dacă $V_{i-1,d} \cdot V_{is} \leqslant 0$:

Săgeata maximă în punctul $i-1$.

$$M_{max} = M_{i-1}$$

b) Dacă $V_{i-1,d} \cdot V_{is} > 0$; $V_{is} \cdot V_{id} \leqslant 0$; $V_{is} + V_{id} < 0$:

Săgeata maximă în punctul i.

$$M_{max} = M_i$$

c) Dacă $V_{i-1,d} \cdot V_{is} > 0$; $V_{is} \cdot V_{id} \leqslant 0$; $V_{is} + V_{id} = 0$:

Săgeata maximă în punctele i-1 și i.

$$M_{max} = M_{i-1} = M_i .$$

d) Dacă $V_{i-1,d} \cdot V_{is} > 0$; $V_{is} \cdot V_{id} \leqslant 0$; $V_{is} + V_{id} > 0$:

Săgeata maximă în punctul i-1.

$$M_{max} = M_{i-1} .$$

e) Dacă $V_{i-1,d} \cdot V_{is} > 0$; $V_{is} \cdot V_{id} > 0$:

Săgeata maximă în alt interval.

Cazul $d = 2$ *sau* $d' = 2$

$$V_{is} = V_{i-1,d} + F_{i-1} \qquad (V_{1s} = V_A)$$

$$V_{id} = V_{is} + g_i L_i$$

$$M_i = 0$$

$$\Phi_i = 0.$$

Calculele menționate în cadrul acestui bloc se repetă pentru $i = 1, 2, \ldots n$. Valorile g și F corespund primei coloane din tabelul datelor inițiale. Ca verificare trebuie să se obțină $M_n = 0$.

Calculele se repetă apoi pentru celelalte coloane.

In aceste calcule, fiecare interval trebuie încadrat într-unul din cazurile de mai sus și este necesar să se știe dacă se ține seama de valoarea d sau de valoarea d' a intervalului. Criteriul este următorul:

— Numărul coloanei $\leqslant \max (c_1 \ldots c_v)$

Se ține seama de valoarea d a intervalului.

— Numărul coloanei $> \max (c_1 \ldots c_v)$

Se ține seama de valoarea d' a intervalului

Blocul D

Momentele în punctele $x_1 \ldots x_6$

a) Dacă $\sum_1^{k-1} L_j < x_i$ și $\sum_1^{k} L_j < x_i$

Punctul x_i se găsește într-unul din intervalele următoare.

b) Dacă $\sum_1^{k-1} L_j < x_i$ și $\sum_1^{k} L_j = x_i$

Punctul x_i coincide cu punctul k.

$$M_{x_i} = M_k$$

c) Dacă $\sum_1^{k-1} L_j < x_i$ și $\sum_1^{k} L_j > x_i$

Punctul x_i se găsește în intervalul k.

$$M_{x_i} = M_{k-1} - V_{ks} \left(x_i - \sum_1^{k-1} L_j \right) - \frac{g_k \left(x_i - \sum_1^{k-1} L_j \right)^2}{2}$$

Calculele de mai sus se repetă pentru $i = 1,2 \ldots 6$ și pentru toate coloanele c.

Blocul E

Coeficienții ecuației de stare.

$$\Phi = \sum_1^n \Phi_i$$

Calculul valorii Φ se repetă pentru fiecare coloană din tabelul datelor inițiale.

$$A = \frac{\Phi_c + \Phi_{c'}}{6\,(L - L_{iz})\,a}$$

Calculul valorii A se repetă pentru fiecare din cele 5 (sau mai puține) stări în coloanele grupei III din tabelul datelor inițiale. La fiecare stare, mărimile c și c' vor avea valorile indicate în coloana corespunzătoare stării respective (rîndul 1 al grupei III din tabelul datelor inițiale).

Valoarea A se calculează și pentru situația corespunzătoare operațiunilor de montare, la care $c=2$ și $c'=0$.

$$K = \frac{1}{E\,a\,s} + \frac{R}{(L - L_{iz})\,a}$$

Blocul F

Valorile maxime și minime ale componentei H la diverse stări.

$$T_m = s \cdot \sigma_a$$

Din ecuațiile:

$$H^2 + 2\,V_{AC}\,H \sin\varphi = T_m^2 - V_{AC}^2 - V_{AC'}^2$$

$$H^2 + 2\,V_{BC}\,H \sin\varphi = T_m^2 - V_{BC}^2 - V_{BC'}^2$$

rezultă cîte o rădăcină pozitivă H_A și H_B. Valorile V_{AC} și V_{BC} sînt cele calculate pentru acea coloană din tabelul datelor inițiale, al cărui număr este c, iar valorile $V_{AC'}$ și $V_{BC'}$ corespund coloanei al cărei număr este c'

$$H_m = \min\,(H_A\,,\,H_B)\,.$$

Calculele de mai sus se repetă pentru stările I...V.

Pentru calculele următoare ale acestui bloc se face o distincție între valorile mărimii a.

Cazul $a = 0$

$$H_{max} = H_m$$

Se repetă pentru fiecare din stările I...V.

Cazul $a = 1$ și $a = 2$

$$H_{max} = H_m$$

$$H' = \frac{M_{max}}{f_{max}} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c)$$

$$H'' = \frac{M_{max}}{f'_{max}} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c')$$

$$H_{min} = \max\,(H'\,,\,H'')$$

Se verifică condiția:

$$H_{min} \leqslant H_{max}$$

Se repetă pentru stările I...V.

Dacă la una din stări condiția nu este îndeplinită, se notează 1 în locul simbolului X_1 din tabelul de rezultate și se oprește mașina.

Cazul $a = 3$

$$H'_m = \frac{M_{max}}{f_{min}} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c)$$

$$H_{max} = \min\,(H_m\,,\,H'_m)\,.$$

$$H' = \frac{M_{max}}{f_{max}} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c)$$

$$H'' = \frac{M_{max}}{f'_{max}} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c')$$

$$H_{min} = \max\,(H'\,,\,H'')\,.$$

Se verifică condiția:

$$H_{min} \leqslant H_{max}$$

Se repetă pentru stările I...V.

Dacă la una din stări condiția nu este îndeplinită, se notează 1 în locul simbolului X_1 din tabelul de rezultate și se oprește mașina.

Blocul G

Determinarea constantei C.

Cazul $a = 0$.

$$C_M = \frac{A}{H^2_{\max}} - K\,H_{\max} - \theta$$

Se repetă pentru stările I...V, mărimile A, $H_{\max}$ și θ având valoarea corespunzătoare stării respective.

$$C = \max\,(C_{MI} \ldots . C_{MV})$$

Cazul $a = 1$

$$C_m = \frac{A}{H^2_{\min}} - K\,H_{\min} - \theta$$

Se repetă pentru stările I...V, mărimile A, $H_{\min}$ și θ având valoarea corespunzătoare stării respective.

$$C = \min\,(C_{mI} \ldots . C_{mV})$$

Cazul $a = 2$ și $a = 3$.

$$C_M = \frac{A}{H^2_{\max}} - K\,H_{\max} - \theta$$

$$C_m = \frac{A}{H^2_{\min}} - K\,H_{\min} - \theta$$

Se repetă pentru stările I...V, mărimile A, $H_{\max}$, $H_{\min}$ și θ având valoarea corespunzătoare stării respective.

$$C_{Mp} = \max\,(C_{MI} \ldots . C_{MV})$$

$$C_{mq} = \min\,(C_{mI} \ldots . C_{mV})$$

unde p și q sînt stările corespunzătoare, la care C_M este maxim, respectiv C_m este minim.

a) Dacă $C_{Mp} \leqslant C_{mq}$:

$$C = C_{mq}$$

b) Dacă $C_{Mp} > C_{mq}$ și $H_{\max p} \leqslant H_{\min q}$:

Se notează 2 în locul simbolului X_1 din tabelul de rezultate și se oprește mașina.

c) Dacă $C_{Mp} > C_{mq}$ și $H_{\max p} > H_{\min q}$:

$$K'' = \frac{C_{Mp} - C_{mq}}{H_{\max p} - H_{\min q}}$$

$$K' = K + K''$$

Se reia apoi cazul $a = 2$ și $a = 3$ de la capăt, înlocuind pe K cu K'. Se repetă ciclul de atîtea ori, pînă se ajunge la cazul a) sau b). Dacă se ajunge la cazul a), se determină C, apoi:

$$R = (K' - K)\,a\,(L - L_{iz})$$

unde K are valoarea inițială (determinată în cadrul blocului E), iar K' are ultima valoare determinată mai sus. Valoarea R astfel determinată se înscrie în tabelul de rezultate.

Blocul H

Determinarea eforturilor la diverse stări.

La fiecare stare, H rezultă din ecuația :

$$K\,H^3 + (\theta + C)\,H^2 - A = 0$$

unde θ și A au valoarea corespunzătoare stării respective, iar C are valoarea determinată mai sus. În cazurile $a = 2$ și $a = 3$, K se înlocuiește cu K' (ultima valoare determinată).

Pentru determinarea eforturilor la montare, C și K au aceeași valoare ca mai sus, A are valoarea calculată pentru montare în cadrul blocului E, iar θ are valorile :

$$\theta_{\min}\,,\ \theta_{\min} + 10,\ \ldots .\ \theta_{\min} + 10\,q$$

Valorile H astfel determinate se înscriu în tabelul de rezultate.

Se determină apoi eforturile și rezistențele totale pentru stările I...V, precum și pentru situația la montare (la toate temperaturile de mai sus) :

$$T_A = \sqrt{H^2 + V^2_{AC} + V^2_{AC'} + 2\,V_{AC}\,H \sin \varphi}$$

$$T_B = \sqrt{H^2 + V^2_{BC} + V^2_{BC'} + 2\,V_{BC}\,H \sin \varphi}$$

Valorile T_A și T_B se determină pentru stările I...V și pentru situația la montare (la toate temperaturile).

$$\sigma_A = \frac{T_A}{s}$$

$$\sigma_B = \frac{T_B}{s}$$

$$\sigma = \max\,(\sigma_A\,,\ \sigma_B)$$

Valorile σ_A, σ_B și σ_i' se determină pentru stările I...V. Valoarea σ se înscrie în tabelul de rezultate.

La fiecare stare se verifică:

$$\sigma \leqslant \sigma_a$$

unde σ_a are valoarea corespunzătoare stării respective (grupa III din tabelul datelor inițiale). Dacă condiția nu este îndeplinită, se notează 1 în locul simbolului X_2 din tabelul de rezultate.

Blocul I

Determinarea săgeților și ordonatelor la diverse stări

$$f = \frac{M_{max}}{H} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c)$$

$$f' = \frac{M_{max}}{H} \quad (M_{max} \text{ calculat pentru coloana } c')$$

Se repetă pentru stările I...V și pentru situația la montare (la toate temperaturile). Valorile f și f' se înscriu în tabelul de rezultate.

$$y = x \sin \varphi - \frac{M_x}{H}$$

Calculul valorii y se repetă pentru punctele $x_1 \ldots x_6$ și pentru stările I....V. Momentul M_x are valoarea determinată în cadrul blocului D pentru punctul respectiv și pentru coloana c a stării respective, iar H corespunde stării respective.

Valorile y se înscriu în tabelul de rezultate.

În cazurile $a=1$, $a=2$ și $a=3$ se verifică:

$$f \leqslant f_{max}$$

$$f' \leqslant f'_{max}$$

Verificarea se face la stările I...V. Dacă prima condiție nu este îndeplinită, se notează 1 în locul simbolului X_4 din tabelul de rezultate. Dacă a doua condiție nu este îndeplinită, se notează 1 în locul simbolului X_5.

În cazul $a=3$ se verifică de asemenea:

$$f \geqslant f_{min}$$

Verificarea se face la stările I...V. Dacă condiția nu este îndeplinită, se notează 2 în locul simbolului X_4. Dacă concomitent nu este îndeplinită nici prima condiție de mai sus, se notează 12.

Blocul J.

Limita superioară a erorii de calcul sistematice.

$$y'_m = \frac{\max(-V_A, V_B)}{H} \quad \text{(Pentru coloanele } c)$$

$$z'_m = \frac{\max(-V_A, V_B)}{H} \quad \text{(Pentru coloanele } c')$$

Se verifică:

$$y'^2_m + 2y'_m |\sin \varphi| + z'^2_m < 1.$$

Calculul se repetă pentru stările I...V. Dacă condiția nu este îndeplinită, se notează 1 în locul simbolului X_3 din tabelul de rezultate.

$$\varrho = 100 \frac{y'^2_m + 2y'_m |\sin \varphi|}{2 - [y'^2_m + 2y'_m |\sin \varphi|]}$$

Valoarea ϱ se calculează pentru stările I...V și se înscrie în tabelul de rezultate.

Se verifică pentru coloanele c':

$$z'_m < \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Dacă condiția nu este îndeplinită, se notează 2 în locul simbolului X_3. Dacă concomitent nu este îndeplinită nici condiția anterioară, se înscrie 12 în locul simbolului X_3.

Blocul K

Eforturi transmise construcțiilor de susținere.

$$H' = H \cos \varphi$$

$$V'_A = -V_A - H \sin \varphi \quad \text{(Pentru coloanele } c)$$

$$V'_B = V_B + H \sin \varphi \quad \text{(Pentru coloanele } c)$$

$$W'_A = -W_A \quad \text{(Pentru coloanele } c')$$

$$W'_B = W_B \quad \text{(Pentru coloanele } c')$$

Calculul se repetă pentru stările I...V. Rezultatele se înscriu în tabelul de rezultate.

A. DATELE INIȚIALE

GRUPA I	N					
	L_{iz}	s	E	α	$\sin\varphi$	R
	f_{max}	f'_{max}	f_{min}	α		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
GRUPA II						
	g_{11}	g_{12}	g_{13}	g_{14}	g_{15}	g_{16}
	g_{21}	g_{22}	g_{23}	g_{24}	g_{25}	g_{26}
	g_{31}	g_{32}	g_{33}	g_{34}	g_{35}	g_{36}
GRUPA III						
	$c_I - c'_I$	$c_{II} - c'_{II}$	$c_{III} - c'_{III}$	$c_{IV} - c'_{IV}$	$c_V - c'_V$	q
	ϑ_I	ϑ_{II}	ϑ_{III}	ϑ_{IV}	ϑ_V	ϑ_{min}
	σ_{aI}	σ_{aII}	σ_{aIII}	σ_{aIV}	σ_{aV}	
GRUPA IV						
Intervalul 1	L_1	$d_1 - d'_1$	b_1			
	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}
Intervalul 2	L_2	$d_2 - d'_2$	b_2			
	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}
Intervalul 3	L_3	$d_3 - d'_3$	b_3			
	F_{31}	F_{32}	F_{33}	F_{34}	F_{35}	F_{36}
etc.						

B. REZULTATELE CALCULULUI

GRUPA I	$L(X_1)$ *)	R				
	H_I	H_{II}	H_{III}	H_{IV}	H_V	
	V_{AI}	V_{AII}	V_{AIII}	V_{AIV}	V_{AV}	
	V_{BI}	V_{BII}	V_{BIII}	V_{BIV}	V_{BV}	
	W_{AI}	W_{AII}	W_{AIII}	W_{AIV}	W_{AV}	
	W_{BI}	W_{BII}	W_{BIII}	W_{BIV}	W_{BV}	
	T_{AI}	T_{AII}	T_{AIII}	T_{AIV}	T_{AV}	
	T_{BI}	T_{BII}	T_{BIII}	T_{BIV}	T_{BV}	
	σ_I	σ_{II}	σ_{III}	σ_{IV}	σ_V	X_2
	ρ_I	ρ_{II}	ρ_{III}	ρ_{IV}	ρ_V	X_3
	f_I	f_{II}	f_{III}	f_{IV}	f_V	X_4
	f'_I	f'_{II}	f'_{III}	f'_{IV}	f'_V	X_5
	y_{1I}	y_{1II}	y_{1III}	y_{1IV}	y_{1V}	
	y_{2I}	y_{2II}	y_{2III}	y_{2IV}	y_{2V}	
	y_{3I}	y_{3II}	y_{3III}	y_{3IV}	y_{3V}	
	y_{4I}	y_{4II}	y_{4III}	y_{4IV}	y_{4V}	
	y_{5I}	y_{5II}	y_{5III}	y_{5IV}	y_{5V}	
	y_{6I}	y_{6II}	y_{6III}	y_{6IV}	y_{6V}	
GRUPA II						
	H'_I	H'_{II}	H'_{III}	H'_{IV}	H'_V	
	V'_{AI}	V'_{AII}	V'_{AIII}	V'_{AIV}	V'_{AV}	
	V'_{BI}	V'_{BII}	V'_{BIII}	V'_{BIV}	V'_{BV}	
	W'_{AI}	W'_{AII}	W'_{AIII}	W'_{AIV}	W'_{AV}	
	W'_{BI}	W'_{BII}	W'_{BIII}	W'_{BIV}	W'_{BV}	
GRUPA III						
	ϑ_{min}	H	T_A	T_B	f	
	$\vartheta_{min}+10$	H	T_A	T_B	f	
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	$\vartheta_{min}+10q$	H	T_A	T_B	f	

*) Cînd apare notată valoarea X_1, mașina se oprește.

A. DATELE INITIALE

Exemplu *)

N					
4	344,4	7660	$18,5 \times 10^{-6}$	0	0
0,9	1				
1,21	1,21	3,71	1,50	1,93	6,79
43,20	43,20	68,60	11,00	5,60	5,60
1-0	1-4	3-5	1-0	3-6	6
-30	-5	-5	x70	-5	-20
3,27	3,27	3,27	3,27	6,54	
2,0	0-0	2			
6,0	6,0	18,0	7,5	9,7	9,7
15,5	0-0	1			
12,0	0	24,1	8,7	10,6	10,6
18,0	0-0	1			
0	0	0	0	0	0
2,0	0-0	2			

*) Datele înscrise corespund exemplului de calcul din anexa 14

INTREPRINDEREA POLIGRAFICA „GRAFICA NOUĂ" 11, BUCUREȘTI — c. 10815